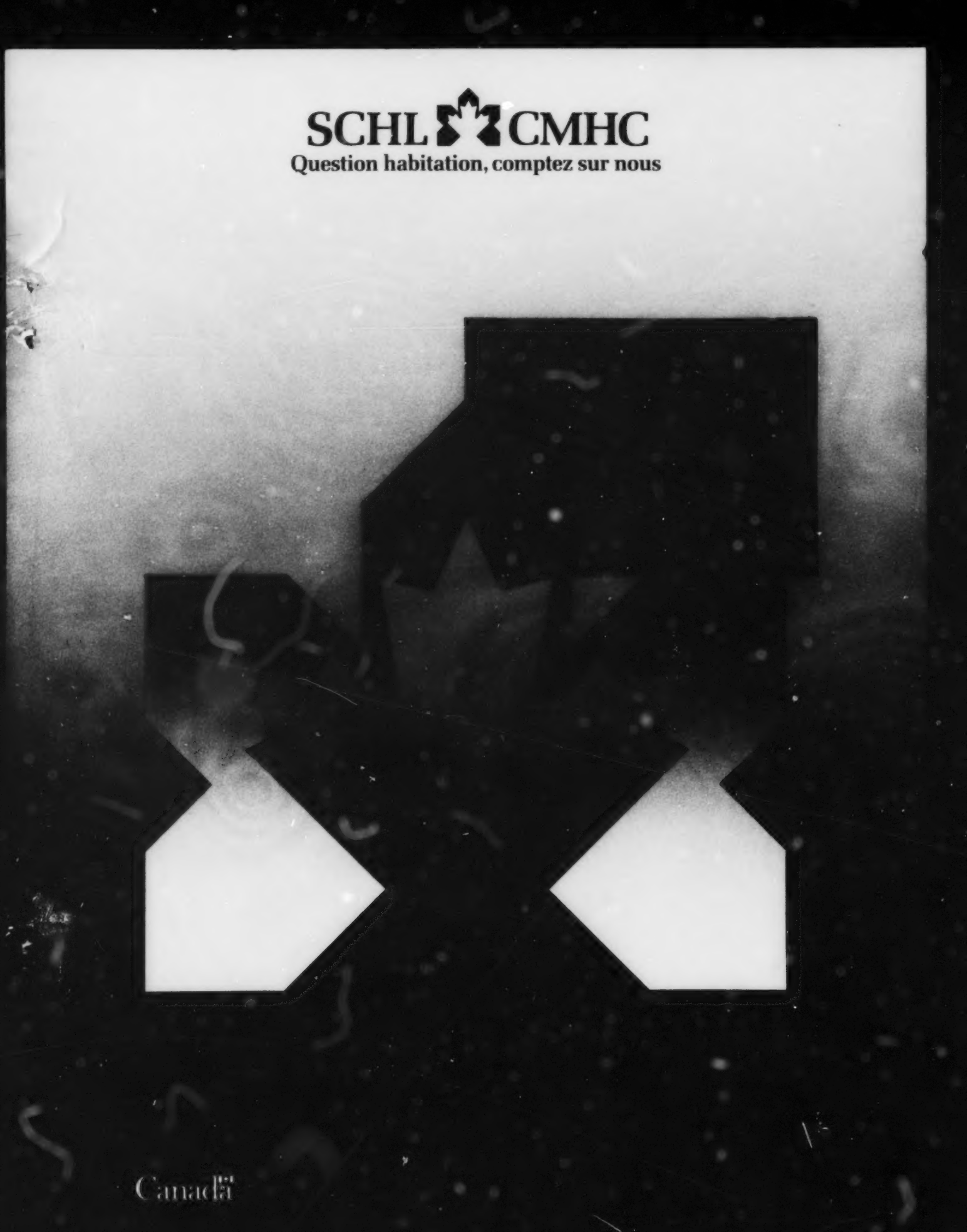

SCHL CMHC
Question habitation, comptez sur nous
Canada

ÉVALUATION COMPARATIVE DES MÉTHODES DE CONSTRUCTION USINÉE EN REGARD DE LA CONSTRUCTION TRADITIONNELLE

Évaluation comparative des méthodes de construction usinée en regard de la construction traditionnelle

préparé par Ginter inc.

SCHL CMHC
Question habitation, comptez sur nous

Société d'habitation du Québec

92-06630/

EVALUATION COMPARATIVE DES METHODES DE CONSTRUCTION USINEE EN REGARD DE LA CONSTRUCTION TRADITIONNELLE SUR LE SITE

Rapport soumis par GINTER Inc.
8790, avenue du Parc
Montréal (Québec)
H2N 1Y6

à:

Monsieur Georges Robert, directeur
Société d'habitation du Québec
Direction de l'analyse et de la recherche

et à:

Monsieur Denis Myette, recherchiste principal
Société canadienne d'hypothèques et de logement
Division de la recherche

Mars 1991

Ce document a été préparé en vertu d'une entente conclue le 23 mars 1990 entre la Société d'habitation du Québec et la Société canadienne d'hypothèques et de logement, qui en ont autorisé la publication. Les idées qui y sont exprimées ne traduisent pas nécessairement celles de ces organismes; elles n'engagent que la seule responsabilité du ou des auteurs du document.

TABLE DES MATIERES

		PAGE
SOMMAIRE		1
SUMMARY		1A
1-	INTRODUCTION	2
2-	LES OBJECTIFS	3
3-	LE CHOIX D'UNE APPROCHE METHODOLOGIQUE	4
4-	LES SYSTEMES A ETUDIER	5
	4.1 - La construction traditionnelle	5
	4.2 - Les systèmes préfabriqués et industrialisés	5
	4.3 - La sélection des systèmes	9
5-	LA DESCRIPTION DES SYSTEMES A ETUDIER	10
	5.1 - Méthodes de construction traditionnelles présentement en vigueur au Québec	10
	5.2 - Systèmes usinés présentement disponibles au Québec	11
	5.3 - Systèmes usinés prospectivement disponibles au Québec	12
	5.4 - Systèmes usinés en usage à l'étranger et présentant un intérêt pour le Québec	12
6-	LA MODELISATION	14
	6.1 - La définition des densités au programme	14
	6.2 - La définition des trois séries de plans constituant le modèle architectural	15
	6.3 - Le tableau de compatibilité entre plans et systèmes	17

7- LES CRITERES D'EVALUATION 18

7.1 - Les critères économiques 19

7.2 - Les critères techniques 20

7.3 - Les critères qualitatifs 23

8- LES RESULTATS

8.1 - Tableau des données économiques pour chacune des trois densités au programme 24

8.2 - Tableaux-synthèses et brève analyse des résultats 25

9- CONCLUSION 34

ANNEXE "A": FICHES DESCRIPTIVES DES SYSTEMES ETUDIES

ANNEXE "B": PLANS CONSTITUANT LE MODELE ARCHITECTURAL
DEVIS SOMMAIRE

ANNEXE "C": NOTES EXPLICATIVES DE L'EVALUATION ECONOMIQUE

ANNEXE "D": REFERENCES & CREDITS

SOMMAIRE

L'étude vise le logement à coût modéré. Douze systèmes représentatifs sont sélectionnés et comparés:

- LES METHODES DE CONSTRUCTION TRADITIONNELLES PRESENTEMENT EN VIGUEUR AU QUEBEC: l'ossature de bois, la maçonnerie porteuse, la béton monolithe coule in situ.

- LES SYSTEMES USINES PRESENTEMENT DISPONIBLES AU QUEBEC: les panneaux légers à ossature ouverte, les panneaux caissons à parois contraintes, les panneaux composites avec isolant rigide, les maisons modulaires pré-usinées, les coffrages permanents à base d'isolant rigide.

- LES SYSTEMES USINES PROSPECTIVEMENT DISPONIBLES AU QUEBEC: les panneaux sandwichs, les panneaux préfabriqués en béton.

- LES SYSTEMES USINES EN USAGE A L'ETRANGER ET PRESENTANT UN INTERET POUR LE QUEBEC: les panneaux légers à ossature de bois assemblés par automation et les modules usinés à arêtes structurales en acier.

La comparaison se fait à l'aide d'un "dénominateur commun" constitué de trois séries de plans correspondant aux principales portées atteintes par la charpente des systèmes étudiés. Chaque série présente un plan spécifique pour chacune des trois densités au programme: unifamilial détaché/unifamilial juxtaposé/multifamilial horizontal.

Sur la base de ce dénominateur commun, chaque système est mesuré à l'aide du **CRITERE D'ECONOMIE,** représenté par le coût unitaire (m2) de construction, et des **CRITERES TECHNIQUES & QUALITATIFS** suivants: l'amplitude du système, le degré d'industrialisation, la durée des travaux, la souplesse architecturale et la qualité de joints.

Au niveau du critère d'économie, les **MAISONS MODULAIRES (volume usiné)** l'emportent dans le cas de l'unifamilial détaché alors que l'**OSSATURE DE BOIS** et ses dérivés préfabriqués **(PANNEAUX A OSSATURE OUVERTE ET PANNEAUX COMPOSITE AVEC ISOLANT RIGIDE)** dominent l'unifamilial juxtaposé et le multifamilial horizontal. Deux technologies innovantes et industrialisées suivent de très près: les **PANNEAUX SANDWICHS (meccano assemblé in situ) et les COFFRAGES PERMANENTS (hybride).** Au niveau des critères techniques et qualitatifs, la supériorité des solutions usinées est évidente.

Les systèmes de construction industrialisés offrent donc une solution de rechange valable et qualitativement supérieure à une construction traditionnelle dont les coûts semblent "protégés" par l'aspect sécurisant qu'elle présente aux yeux des constructeurs, des promoteurs et de la main-d'oeuvre en général. Ils livrent une compétition prometteuse si l'on tient compte du fait qu'une augmentation du marché leur permettrait de fractionner encore plus l'amortissement de l'investissement en équipement de production et, de ce fait, de réduire les coûts à un niveau que le traditionnel ne serait plus en mesure de combattre.

SUMMARY

This study deals with moderate cost housing. Twelve typical systems are selected and compared:

- TRADITIONAL BUILDING METHODS CURRENTLY USED IN QUEBEC: wood frame, bearing masonry, monolithic concrete cast on site;
- MANUFACTURED SYSTEMS CURRENTLY AVAILABLE IN QUEBEC: light panel open framing, stressed skin box panels, composite panels with rigid insulation, modular homes, permanent formworks using rigid insulation;
- MANUFACTURED SYSTEMS LIKELY TO BECOME AVAILABLE IN QUEBEC: sandwich panels, prefabricated concrete panels;
- MANUFACTURED SYSTEMS USED ABROAD AND OF INTEREST FOR QUEBEC: light wood frame panels assembled by automation, and manufactured modules with structural steel edges.

The comparison is based on a common denominator consisting of three series of plans that correspond to the main spans of the framing in the systems studied. Each series presents a specific plan for each of the following three types of dwelling: single-detached units, row housing, low-rise multi-family housing.

On the basis of this common denominator, each system is evaluated using the **CRITERION OF ECONOMY**, i.e., the unit construction cost (m^2) and the following **TECHNICAL AND QUALITATIVE CRITERIA**: scope of the system, extent of industrialization, duration of work, architectural flexibility and quality of joints.

Based solely on the criterion of economy, **MODULAR HOMES** win in the case of single-detached homes while **WOOD FRAMING** and its prefabricated off-springs **(OPEN FRAMEPANELS AND COMPOSITE PANELS WITH RIGID INSULATION)** win in the case of row and multi-family housing. Two innovative industrial technologies follow closely behind: **SANDWICH PANELS (meccano assembled on site) and PERMANENT FORMWORKS (hybrid).** The superiority of manufactured systems is obvious based on the tehnical and qualitative criteria.

Manufactured construction systems thus offer a valid alternative of superior quality to traditional construction, the cost of which seems to be partly "protected" by the security it represents in the eyes of builders, promoters and labour in general. These systems provide promising competition in view of the fact that an increase in the market would enable them to amortize even more quickly the investment in production equipment, and thus reduce costs to a level at which traditional methods would be unable to surpass them.

1. INTRODUCTION

Le présent rapport a pour but d'établir une comparaison systémique entre la construction traditionnelle et les systèmes préfabriqués, voire industrialisés, dans le domaine de l'habitation à coût modéré. La comparaison vise à alimenter la réflexion des décideurs (constructeurs, promoteurs, manufacturiers, agences gouvernementales ou para-gouvernementales) en matière de construction résidentielle au Québec.

L'étude cherche d'abord et avant tout à caractériser le potentiel que représente chacun des systèmes étudiés pour la construction de logements au Québec au niveau de l'unifamilial détaché, de l'unifamilial juxtaposé et du multifamilial horizontal.

Le but de la comparaison est de souligner objectivement ce qui distingue les systèmes entre eux et non pour identifier un "grand champion": un système n'est avantageux que s'il est pertinent par rapport au contexte du projet; or les contextes étant multiples et variables, aucun système ne peut les englober tous au même degré.

Les données présentées datent de novembre 1990. C'est le voeu des auteurs que l'étude puisse être actualisée chaque année, d'une part pour tenir compte des fluctuations au niveau des coûts et d'autre part pour l'ajuster aux améliorations que les manufacturiers apporteront à leurs systèmes; on pourra y ajouter les nouveaux systèmes qui arriveront sur le marché.

2. LES OBJECTIFS

L'étude est financée conjointement par la Société d'habitation du Québec (SHQ) et la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL); elle fut confiée à la firme GINTER INC. suite à un appel de candidatures lancé par la S.H.Q.

La SHQ et la SCHL posèrent les trois objectifs suivants comme point de départ (#1):

"A- Démontrer d'une façon neutre les possibilités qu'offrent les innovations technologiques qui font appel à différentes méthodes de préfabrication;

B- Illustrer en termes d'avantages et d'inconvénients, les concepts nouveaux;

C- Evaluer leurs coûts de réalisation et apprécier leurs qualités considérant les facteurs économiques, techniques et physiques par rapport à la construction traditionnelle sur le site".

Dans le cas de l'objectif "A", il appert que la démonstration des possibilités d'un système amènerait, en soi, des variantes topologiques intéressantes mais difficilement comparables: les caractéristiques spécifiques d'un système lui permettent de faire facilement ce qui pénaliserait un autre. Il est préférable de confronter les divers systèmes aux mêmes plans types; ce qui offre l'avantage de les rendre plus faciles à comparer et de démontrer leur souplesse.

Quant aux autres possibilités qu'offrent les systèmes, elles sont innombrables dans la plupart des cas et il faut probablement laisser à l'imagination des architectes le soin de les articuler une fois les avantages du systèmes explicités.

Les avantages et inconvénients recherchés par l'objectif "B" peuvent très bien alimenter l'évaluation demandée en "C". C'est la voie qu'empruntera l'étude: définir des critères d'évaluation couvrant les aspects économiques, techniques et qualitatifs pour ensuite évaluer la performance de chaque système à l'aide de ces mêmes critères. L'évaluation permettra de souligner le potentiel de chaque système dans le contexte québecois et d'établir une comparaison entre tous les systèmes.

3. LE CHOIX D'UNE APPROCHE METHODOLOGIQUE

Deux options sont apparues sur le plan méthodologique: l'approche **EMPIRIQUE** basée sur l'énumération suffisante et l'approche **ANALYTIQUE** basée sur l'analyse de cas types à l'aide de critères.

L'approche empirique est la sommation des caractéristiques représentatives tirées du plus grand nombre. Approche très sécurisante parce qu'elle s'appuie, en principe, sur de nombreux cas. Mais cette approche peut devenir trompeuse dans le cadre d'une étude comparative, car la quantité d'échantillons disponibles va varier considérablement d'un système à l'autre.

Les caractéristiques architecturales des projets échantillons risquent également d'être très distinctes: matériaux de finition, complexité géométrique et dimension. L'on sait que chacune de ces caractéristiques peut influencer énormement le coût; l'on sait par ailleurs que le coût unitaire n'est pas directement proportionnel à la superficie, mais qu'il tend plutôt à diminuer lorsque la superficie augmente.

Nous avons donc retenu la seconde option, l'approche analytique, où les mêmes critères sont utilisés pour évaluer les systèmes appliqués aux mêmes plans types. Il n'y a pas énumération suffisante, nous l'admettons, mais il y aura "comparaison entre comparables".

Cinq étapes sont apparues évidentes et conséquentes:

1. **QUOI COMPARER i.e. LA SELECTION ET LA DESCRIPTION** des systèmes pertinents dans le contexte du Québec, territoire visé par l'étude;

2. **COMMENT COMPARER i.e. LA MODELISATION** de plans types compatibles aux systèmes identifiés afin de permettre la comparaison entre comparables;

3. **LE CHOIX DE CRITERES D'EVALUATION** représentatifs des aspects économiques, techniques et qualitatifs;

4. **LES RESULTATS i.e. LE TABLEAU DES DONNEES** obtenues en réponse aux critères pour chacun des systèmes; des facteurs de sensibilité permettront de ramener les diverses données obtenues sur une même échelle pour en faciliter la lecture. Le tout est accompagné d'une brève analyse des résultats.

5. **LA CONCLUSION** i.e. l'exposé des leçons à tirer.

4- LES SYSTEMES A ETUDIER

Quels seront les systèmes à comparer et comment les sélectionner? La question s'applique autant aux méthodes de construction traditionnelles qu'aux systèmes préfabriqués et industrialisés. Elle implique également que chacun des systèmes sélectionnés puisse être usilisé, sans difficulté particulière, pour la réalisation de chacune des trois densités visées: **l'UNIFAMILIAL DETACHE, l'UNIFAMILIAL JUXTAPOSE et le MULTIFAMILIAL HORIZONTAL.**

4.1 LA CONSTRUCTION TRADITIONNELLE

Par **CONSTRUCTION TRADITIONNELLE,** l'on entend les modes de construction correspondant aux habitudes du marché et dont la caractéristique principale est de dépendre de la main-d'oeuvre dans une proportion qui représente plus de 50% du coût total.

La construction à ossature de bois est de beaucoup la formule la plus répandue au Québec, tant pour l'unifamilial que pour le multifamilial horizontal de trois étages.

Même si la maçonnerie porteuse et le béton armé sont rarement utilisés pour l'unifamilial, nous jugeons qu'il est important de les considérer au niveau du multifamilial horizontal afin, notamment, de faciliter la comparaison avec les systèmes préfabriqués et industrialisés qui font appel à ces matériaux.

4.2 LES SYSTEMES PREFABRIQUES ET INDUSTRIALISES

Les **SYSTEMES PREFABRIQUES ET INDUSTRIALISES** sont des méthodes qui font appel à une production en grande quantité pour amortir les équipements et les procédés capables de simplifier la production. Les équipements et procédés sont généralement installés en usine, quoique certaines nouvelles applications permettent également d'intervenir directement au chantier. Leur sélection se fera de manière à représenter les trois grandes familles de systèmes: le **MECCANO** préfabriqué assemblé in situ, le **VOLUME USINE** et **L'HYBRIDE;** tels que définis ci-après (#2).

4.2.1 LE MECCANO ASSEMBLE AU CHANTIER

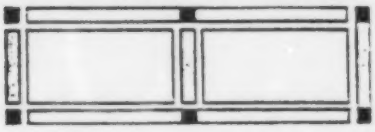
Tous les sous-systèmes, y compris la charpente, sont fabriqués à l'usine mais transportés au chantier en pièces détachées.

L'investissement est modéré, car le bâtiment est découpé de manière à rendre les pièces relativement simples à fabriquer, compactes au transport et faciles à partager entre plusieurs sous-traitants.

Mais le chantier est encore soumis à une longue séquence, d'assemblage, de jointoiement et de finition requérant une main-d'oeuvre spécialisée; ces opérations sont également soumises aux contraintes climatiques et géographiques propres à tout travail in situ.

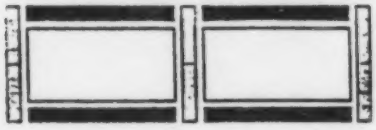
Les quatre types de systèmes qui composent cette catégorie sont engendrés par la géométrie du sous-système charpente:

"A"- LA POUTRE & COLONNE



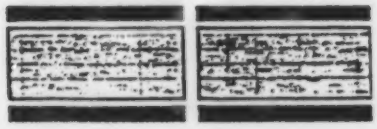
Ossature qui implique nécessairement un remplissage horizontal et vertical, avec toutes les opérations de jointoiement et d'étanchéité qui s'en suivent.

"B"- LA DALLE & POTEAU



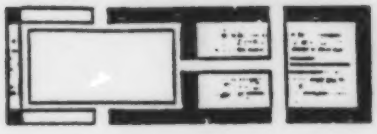
En éliminant le remplissage horizontal, l'on fait un pas vers plus de simplicité.

"C"- LES PANNEAUX



Dalles et murs porteurs étalant les charges tout en collaborant à l'insonorisation.

"D"- LE JOINT INTEGRE



Elément monolithe qui facilite le jointoiement en le reportant en dehors du point de rencontre géométrique.

4.2.2 LE VOLUME USINE

L'on exploite les avantages de la chaîne de montage: **tous les espaces et tous les éléments du logis sont entièrement fabriqués, assemblés, et finis à l'usine; en tant que modules tridimensionnels, ils ne nécessitent qu'un simple raccordement aux fondations et aux services une fois parvenus au site,** de sorte que la main-d'oeuvre ne représente que 15% à 20% du coût total.

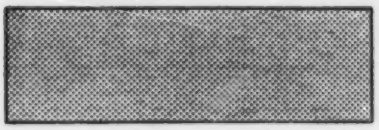
Par contre, on transporte de "l'air" et les frais d'installation sont quand même significatifs. Mais cette catégorie de systèmes présente surtout l'inconvénient de nécessiter un investissement initial élevé et un carnet de commandes bien alimenté, car la même usine est responsable de la quasi-totalité du système: pour y remédier,les manufacturiers tenteront de maximiser la sous-traitance.

Il y a deux façons d'envisager le volume usiné:

"E"- LE MODULE SECTIONNEL

Volume petit et facile à transporter; mais qui demande un complément, un jumelage, ou un déploiement en arrivant au site.

"F"- LA BOITE



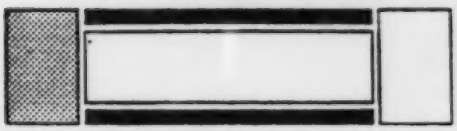
Unité autonome entièrement complétée à l'usine.

4.2.3 L'HYBRIDE

Cette troisième catégorie tient son nom du fait qu'elle cherche à combiner les points forts des deux premières: **fabriquer à l'usine les éléments sophistiqués du bâtiment, et confier au chantier les opérations qui auraient été pénalisées par le transport.**

Trois formules sont possibles:

"G"- LE NOYAU PORTEUR



La zone servante du bâtiment, c'est-à-dire le noyau d'équipement/services, est fabriquée à l'usine comme volume ayant une capacité de charpente, en vue de recevoir des dalles préfabriquées ainsi que des panneaux d'enveloppe et de cloisonnement.

"H"- LA MEGASTRUCTURE

Ossature accueillant des volumes usinés comme charges vives, afin de leur permettre d'aller en hauteur tout en évitant l'empilage. En raison même de cette redondance de charpente, il s'agit là d'une formule plus spectaculaire que réaliste.

"I"- LA MECANISATION DU CHANTIER

L'idée est d'amener au chantier l'outillage requis pour véritablement le transformer en usine. Dans le cas des sous-systèmes autres que la charpente, leur complexité justifie l'approche "MECCANO".

4.3 LA SELECTION DES SYSTEMES

Quatre types de systèmes ont été expressément nommés dans la "description du mandat" émise par la SHQ et la SCHL. Les trois premiers appartiennent à la famille du **MECCANO ASSEMBLE AU CHANTIER,** ce sont les **panneaux ouverts,** les **panneaux avec isolant rigide,** les **panneaux avec isolant non rigide.** Le quatrième appartient à la famille du **VOLUME USINE,** ce sont les maisons modulaires pré-usinées à ossature de bois appelées **systèmes modulaires** dans ledit mandat.

Ces quatre systèmes empruntent finalement beaucoup à la construction traditionnelle à ossature de bois. Leurs avantages sont essentiellement ceux de la préfabrication:

- Rationalisation du travail en fonction de la ligne de montage;
- Outillage spécialisé et appareils de levage permanents (pont roulant);
- Main-d'oeuvre semi-spécialisée;
- Protection climatique (travail "à l'intérieur");
- Plus grand pouvoir d'achat dû à un point de livraison unique;

Nous incluons un cinquième système, les **coffrages permanents** à base d'isolant rigide; autant pour tenir compte de l'importance progressante de cette formule que pour assurer une représentation de la famille de l'**HYBRIDE.**

Afin de donner à l'étude un horizon temporel, nous ne nous limiterons pas qu'aux cinq systèmes mentionnés. Nous ajouterons deux solutions appartenant à la famille du **MECCANO** préfabriqué qui nous apparaissent appropriées ici: le **panneau sandwich** de même que le **panneau de béton préfabriqué,** solution désormais moins courante mais suffisamment "classique" pour trouver sa place dans une étude comme celle-ci.

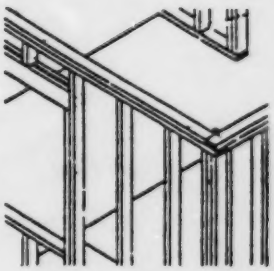
Enfin, nous traiterons également deux systèmes usinés en usage à l'étranger qui, dans notre opinion, présentent un intérêt pour le Québec. Nous ne pouvons ignorer les **panneaux à ossature de bois fabriqués par automation en Suède,** et nous nous devons également d'accorder beaucoup d'attention aux **modules à arêtes structurales en acier** usinés présentement au Japon. Dans ce dernier cas il s'agit des systèmes les plus industrialisés au monde et, n'eut été l'augmentation spectaculaire de la valeur du Yen décrétée en 1985 pour des raisons politiques évidentes, ces modules auraient déjà envahi le marché québecois comme l'ont fait les automobiles japonaises.

5- LA DESCRIPTION DES SYSTEMES A ETUDIER

Le lecteur trouvera ci-après une brève description des aspects spécifiques de chaque système sélectionné pour les raisons énoncées au chapitre précédent. A l'annexe "A", chacun de ces systèmes fait l'objet d'une fiche descriptive illustrée donnant les renseignements appropriés au niveau de chacun des sous-système suivants: charpente/enveloppe/cloisonnement/services.

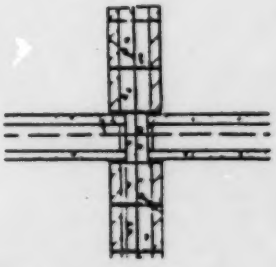
5.1 METHODES DE CONSTRUCTION TRADITIONNELLES PRESENTEMENT EN VIGUEUR AU QUEBEC

5.1.1 OSSATURE DE BOIS



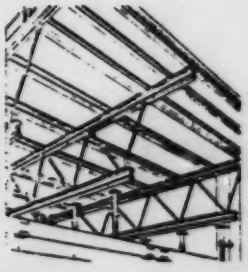
Charpente verticale par colombage de bois (2" X 4" ou 2" X 6") et charpente horizontale par solives solides (2" X 10") ou poutrelles ajourées/composites; enveloppe et cloisonnement intérieur de même nature, avec isolation intégrée et parement variable (#3).

5.1.2 MACONNERIE PORTEUSE



Charpente par composants standards: blocs de béton posés artisanalement, poutrelles d'acier ou dalles extrudées en béton précontraint (#4).

5.1.3 BETON MONOLITHE COULE IN SITU

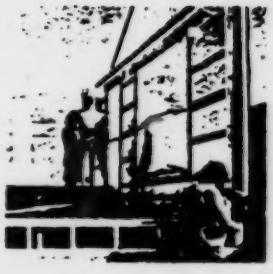


Les murs sont généralement des segments d'une longueur suffisante pour rencontrer les exigences purement structurales, coulés à l'aide de coffrages traditionnels en contreplaqué ou de coffrages mécanisés comme les coffrages volants (#6).

5.2 SYSTEMES USINES PRESENTEMENT DISPONIBLES AU QUEBEC

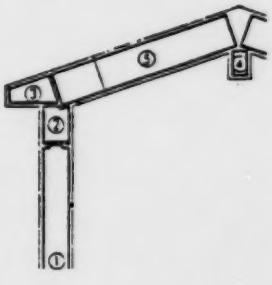
5.2.1 PANNEAUX LEGERS A OSSATURE OUVERTE (isolant non rigide)

Pré-assemblage en usine des murs, des planchers et des toits de la construction à ossature de bois afin de bénéficier des avantages inhérents à la préfabrication (#8).



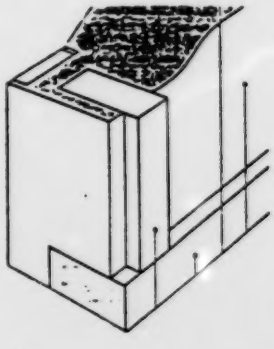
5.2.2 PANNEAUX CAISSONS A PAROIS CONTRAINTES

Usinage de caissons à parois contraintes entièrement à partir de panneaux gaufrés: économie de matière, intégration isolant/filage et simplification du montage au chantier; finition à compléter de façon traditionnelle (#9).



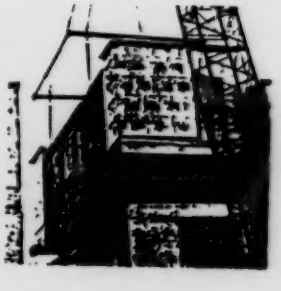
5.2.3 PANNEAUX COMPOSITES AVEC ISOLANT RIGIDE

Utilisation de panneaux de polystyrène profilés comme gabarit permanent pour le montage des colombages de bois et comme bris thermique. Ces panneaux verticaux sont généralement complétés par des dalles de même nature ou encore par des poutrelles ajourées avec tablier de contreplaqué. Finition à compléter de façon traditionnelle (#10).

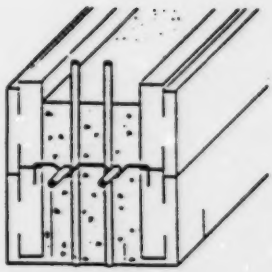


5.2.4 MAISONS MODULAIRES PRE-USINEES

Seule approche entièrement usinée au Québec présentement. Modules tridimensionnels à ossature de bois montés et finis à l'usine. L'usine typique adopte le principe de la ligne d'assemblage alimentée perpendiculairement par des composantes pré-assemblées. Le tirage des joints et la peinture sont faits au chantier, une fois le module installé.



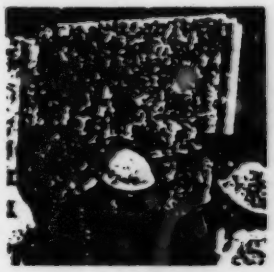
5.2.5 COFFRAGES PERMANENTS A BASE D'ISOLANT RIGIDE



Simplification des opérations rattachées au béton coulé in situ à l'aide de méga-blocs de polystyrène évidés et facilement emboutetables comme coffrage permanent (#12). Charpente horizontale variable.

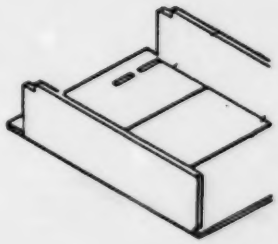
5.3 SYSTEMES USINES PROSPECTIVEMENT DISPONIBLES AU QUEBEC

5.3.1 PANNEAUX SANDWICHS



Panneaux porteurs constitués d'une âme d'isolant rigide injecté sous pression entre deux parois de nature variable; joint emboutetés entre les panneaux (#7).

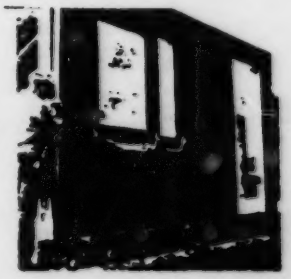
5.3.2 PANNEAUX PREFABRIQUES EN BETON



La dalle précontrainte et le plancher composite acier-béton permettent des portées de 6 à 8 mètres, suffisantes pour englober un logement complet entre deux murs et amener le ratio joint-superficie dans des limites rentables (#14).

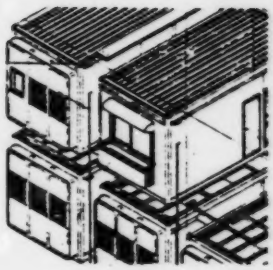
5.4 SYSTEMES USINES EN USAGE A L'ETRANGER ET PRESENTANT UN INTERET POUR LE QUEBEC

5.4.1 PANNEAUX LEGER @ OSSATURE DE BOIS ASSEMBLES PAR AUTOMATION



Les systèmes de panneaux suédois fabriqués par automation et entièrement finis à l'usine (#15) figurent parmi les solutions les plus évoluées au monde.

5.4.2 MODULES USINES @ ARETES STRUCTURALES EN ACIER i.e. modules de dimensions para-container ouvrables dans 6 directions



Module usiné à arêtes structurales en acier, permettant d'en réunir deux pour créer une grande pièce (#16). Le plus haut degré d'industrialisation au monde.

6. LA MODELISATION

Afin de "comparer des comparables", nous établirons un **modèle architectural de base qui servira de DENOMINATEUR COMMUN** aux systèmes sélectionnés.

Le modèle architectural est constitué de trois séries de plans correspondant aux principales portées atteintes par la charpente des systèmes étudiés. Chaque série présente un plan spécifique pour chacune des trois densités au programme (unifamilial détaché/unifamilial juxtaposé /multifamilial horizontal). Le tableau de la page 15 indique la compatibilité entre les plans et les systèmes sélectionnés: on notera que plusieurs systèmes peuvent être compatibles à deux séries.

6.1 LA DEFINITION DES DENSITES AU PROGRAMME

i **L'UNIFAMILIAL DETACHE,** c'est la maison détachée appelée familièrement "bungalow" lorsqu'elle est sur un seul niveau.

ii **L'UNIFAMILIAL JUXTAPOSE,** c'est la maison qui partage des murs mitoyens en refend et qu'on désigne sous le nom de "maison en rangée" ("rowhouse") en Europe et de "maison de ville" ("townhouse") en Amérique; pour les fins de l'étude, nous assumons une rangée de quatre (4) maisons, excluant donc la formule dite "jumelée" constituée de deux maisons qui partagent un seul mur mitoyen.

iii **LE MULTIFAMILIAL HORIZONTAL,** c'est l'édifice multifamilial de trois (3) étages où les logements sont accessibles directement par escalier ("walk up") sans l'intermédiaire d'un corridor; pour les fins de l'étude nous considérerons quatre (4) logements par étage (dont trois (3) sont de types distincts) pour un total de douze (12) logements.

6.2 LA DEFINITION DES TROIS SERIES DE PLANS CONSTITUANT LE MODELE ARCHITECTURAL

SERIE "A"
Grandes porteés (6 @ 7 mètres) correspondant principalement aux solutions de type panneaux, les poutrelles composites permettant d'équivaloir au béton précontraint ou monolithe.

- Unifamilial détaché: 100,60 m2
- Unifamilial juxtaposé: 125,00 m2
- Multifamilial horizontal:
  - i - petit 2 chambres de 91,08 m2
  - ii - grand 2 chambres de 99,36 m2
  - iii - grand 3 chambres de 134,64 m2

SERIE "B"
Petites portées transversales pour les solutions tridimensionnelles, limitées par le gabarit routier (maximum de 4,85 m).

- Unifamilial détaché: 100,50 m2
- unifamilial juxtaposé: 130,56 m2
- Multifamilial horizontal:
  - i - petit 2 chambres de 92,88 m2
  - ii - grand 2 chambres de 100,62 m2
  - iii - grand 3 chambres de 134,10 m2

SERIE "C"
Petites portées transversales pour les modules à ossature d'acier, applicable uniquement à l'unifamilial détaché ou juxtaposé (maximum de 2,60 m).

- Unifamilial détaché et juxtaposé: 125,00 m2
- Multifamilial horizontal: N/A

Le lecteur trouvera à l'annexe "B" le tracé de chacun de ces plans de même que le devis sommaire qui s'y applique.

Tous les plans répondent aux critères fonctionnels suivants:

- **Architecture simple et modulaire.**

- **Entrée neutre** i.e. accéder à chacune des zones du logement sans avoir à en traverser un autre.

- Distintion entre **zone servie** (séjour) et **zone servante** (accès, cuisine, salles d'eau, buanderie, équipement de chauffage/ventilation, etc...).

- **Autonomie** des trois secteurs de la **zone servie** (social/familial/individuel).

- **Double orientation** (plan transversal ou en coin) afin d'obtenir
  - La ventilation naturelle.
  - L'ensoleillement diurne continu.
  - Le champ visuel maximal.

- **Optimisation de la façade** selon les dimensions critiques afin de maximiser la densité, quitte à transférer au centre du logement les rangements et une bonne partie de la zone servante.

  Les éléments porteurs verticaux correspondent aux **frontières privé/semi-privé** de façon à optimiser l'insonorisation et l'ignifugation.

- Les **escaliers** y sont positionnés de façon à ne pas entrer en conflit avec les portées.

- **Aire de séjour extérieure privée** d'une dimension minimale de 2,0 m afin de pouvoir y prendre un repas et/ou y placer des chaises longues.

6.3 LE TABLEAU DE COMPATIBILITE ENTRE PLANS ET SYSTEMES

	Unifamilial détaché			Unifamilial juxtaposé			Multifamilial horizontal	
	A	B	C	A	B	C	A	B
1.1 OSSATURE DE BOIS	●	O		●	O		●	O
1.2 MACONNERIE PORTEUSE				●			●	O
1.3 BETON MONOLITHE COULE IN SITU				●	O		●	O
2.1 PANNEAUX LEGERS @ OSSATURE OUVERTE	●	O		●	O		●	O
2.2 PANNEAUX CAISSONS @ PAROIS CONTRAINTES	O	●			●			
2.3 PANNEAUX COMPOSITES AVEC ISOLANT RIGIDE	●	O		●	O		●	O
2.4 MAISONS MODULAIRES PRE-USINEES	O	●			●			●
2.5 COFFRAGES PERMANENTS PAR ISOLANT RIGIDE	●	O		●	O		●	O
3.1 PANNEAUX SANDWICHS	●	O		●	O			
3.2 PANNEAUX PREFABRIQUES EN BETON				●	O		●	O
4.1 PANNEAUX LEGERS PAR AUTOMATION	●	O		●	O		●	O
4.2 MODULES @ ARETES STRUCTURALES EN ACIER			●			●		

Légende: O compatibilité
● plan retenu pour l'évaluation économique

Le tableau indique la compatibilité entre les plans des trois séries qui constituent le modèle architectural et les systèmes sélectionnés

Notons que chaque plan est traité à l'aide d'un logiciel de C.A.O., de sorte qu'il a pu être modifié systématiquement pour s'ajuster aux caractéristiques particulières de chacun des systèmes constructifs évalués; ainsi, il a été possible de respecter la nature dudit système tout en se rapprochant du cas-type utilisé pour l'analyse des coûts.

7. LES CRITERES D'EVALUATION

L'évaluation comparative porte à la fois sur les aspects économiques, techniques et qualitatifs. L'évaluation économique est exclusivement basée sur le coût unitaire de construction au mètre carré; le coût a été établi d'après les plans types décrits au chapitre précédent. L'évaluation technique concerne le système lui-même alors que l'évaluation qualitative s'applique à l'édifice généré par le système.

Toujours en vue de "comparer des comparables", plus précisément de mesurer sur une échelle commune les valeurs numériques correspondantes aux différents critères, nous avons adopté la méthode dite de la "COURBE DE SENSIBILITE" pour ce qui se rapporte aux aspects techniques et qualitatifs.

Il s'agit d'élaborer une courbe spécifique aux valeurs numériques du critère sur un axe et de les rendre mesurables à l'aide d'une échelle commune sur l'autre axe. Le choix d'une gamme de valeurs, qui s'étend de "1 @ 5", permet d'étaler les variables de façon à les démarquer le plus significativement possible.

Le fait de ramener les résultats sur une échelle commune permet de les comparer et même de les additionner, bien qu'il faille toutefois adopter dans ce dernier cas des facteurs de pondération afin de respecter l'importance à donner à un critère par rapport à un autre.

7.1 CRITERE ECONOMIQUE

L'évaluation économique est exclusivement basée sur le coût unitaire de construction au mètre carré.

Les coûts de construction comprennent les profits et frais des fabricants, des sous-traitants et de l'entrepreneur général.

Pour la présente étude, afin d'obtenir une comparaison, le coût unitaire est uniquement basé sur la construction d'une unité. Dans le cas de l'unifamilial juxtaposé, le coût unitaire est calculé pour un seul logement à raison de 25% du coût applicable à une rangée de quatre. Les coûts sont établis selon une moyenne dans l'industrie de la construction pour la région de Montréal et des grandes villes en banlieue.

Le fait de produire une plus grande série, tant pour le traditionnel que pour l'usiné, se traduit toutefois par une augmentation de la productivité de la main-d'oeuvre et par un meilleur amortissement des équipements. De plus, le maître d'ouvrage bénéficie d'un plus grand pouvoir de négociation. **En conséquence, les coûts de construction peuvent être réduits d'environ 10% si on considère la mise en chantier d'un groupe de 10 unités et plus à la fois, quelle que soit la méthode utilisée. Selon notre expérience, l'entrepreneur peut réaliser, à cette échelle de production, des économies de cet ordre, aussi bien en construisant de façon traditionnelle qu'en négociant des réductions de prix auprès des producteurs des systèmes usinés. Ce facteur ne nous paraît donc pas discriminant en termes de comparaison, dans les conditions générales du Québec.** Il est entendu par ailleurs que les produits des systèmes usinés exigent un volume minimal annuel de production, mais cette condition est supposée acquise et reflétée dans le prix de base à l'unité.

En outre, à l'extérieur des principaux centres urbains, des économies supérieures pourraient être réalisées par le recours à des sous-traitants artisans, sauf dans le cas des systèmes usinés les plus complets, (maisons modulaires et autres).

La conjoncture économique pour l'industrie de la construction est également un facteur qui a un impact plus que significatif sur les coûts des matériaux et de la main-d'oeuvre. Les coûts qui figurent dans la présente étude représentent la situation du marché de la construction de 1990.

L'évaluation économique ne tient pas compte du coût d'acquisition du terrain, des infrastructures ainsi que du coût d'aménagement paysager (terrassement et pavage). Ces coûts peuvent substantiellement varier et ne sont pas pertinents à l'étude.

Les plans utilisés pour **L'EVALUATION ECONOMIQUE** ne comportent aucune complexité architecturale dans le but de ne pas défavoriser les différents systèmes étudiés.

Une augmentation de la complexité de la structure entraînerait des dérogations coûteuses chez certains systèmes. Par contre, la construction traditionnelle pourrait être avantagée par cette complexité qui aurait moins d'impact sur elle.

Par ailleurs, il était pratiquement impossible de déterminer l'impact de la taxe sur les produits et services, en particulier pour le secteur traditionnel. A cet effet, la TPS n'est pas incluse dans le calcul du coût unitaire pour la présente étude; il semble qu'elle n'influence guère la comparaison entre les différents systèmes.

Le calcul des coûts fait l'objet d'une démarche qui varie selon la nature même de chacune des quatre catégories de technologies décrites au chapitre 4; on considère que les éléments hors-systèmes sont fournis à l'aide de solutions courantes faisant appel à la construction traditionnelle.

Les sources d'information sur les coûts sont:

1- Pour les méthodes de construction traditionnelles présentement en vigueur au Québec: PRIX UNITAIRES selon la classification élémentale.

2- Pour les systèmes usinés présentement disponibles au Québec: prix basés principalement sur les réalisations des constructeurs ayant déjà utilisé lesdits systèmes; prix obtenus des constructeurs eux-mêmes, des fournisseurs et/ou des manufacturiers selon le cas.

3- Pour les systèmes usinés prospectivement disponibles au Québec: interview avec les développeurs et cueillette de données rattachées aux réalisations antérieures ou prototypes (sinon aux estimations); ces données sont ajustées, au besoin, à l'aide de données provenant de systèmes comparables.

4- Pour les systèmes étrangers: évalués sur des données publiées ou à partir de soumissions à des promoteurs canadiens ou québecois.

Le lecteur doit prendre note que la différence entre les sources d'information d'une catégorie à l'autre peut engendrer un niveau variable de précision et de fiabilité; malgré les mesures prises pour contourner le problème. (Voir Annexe "C").

N.B. L'identité des sources est révélée à la rubrique "REFERENCES" & CREDITS" à l'Annexe "D".

7.2 LES CRITERES TECHNIQUES ("a" @ "c")

Quatre facteurs permettent de distinguer l'envergure des systèmes étudiés, facteurs qui deviennent nos critères d'évaluation technique dans le cadre de la présente étude: l'amplitude du système, le degré d'industrialisation et la durée des travaux.

a) L'AMPLITUDE DU SYSTEME

Le critère d'amplitude vise à définir la proportion du bâtiment couverte par le système et s'exprime tout d'abord par le nombre de sous-systèmes mis en cause.

Dans le domaine de l'habitation un système constructif peut comprendre jusqu'à six (6) sous-systèmes, soient:

- La **CHARPENTE** i.e. la structure du bâtiment;
- L'**ENVELOPPE** i.e. le périmètre de l'environnement contrôlé par le bâtiment (murs extérieurs/portes & fenêtres/toiture/soffites);
- Le **CLOISONNEMENT** i.e. les subdivisions de l'espace intérieur du bâtiment;
- Les **SERVICES** i.e. les réseaux plomberie/chauffage/électricité/électronique et les circulations (escaliers & ascenseurs);
- Les **EQUIPEMENTS** i.e. les installations spécifiques à l'habitation telles que la cuisine, les salles d'eau, la buanderie, etc...
- La **FINITION** i.e. les revêtements/calfeutrages/peinture/ etc...

Comme tout système implique la présence d'au moins un sous-système, nous assumons que chacun des sous-systèmes additionnels mérite un pointage sur l'échelle "1 @ 5"; les fractions représentant des sous-systèmes incomplets s'additionnent jusqu'à concurrence d'une ou de plusieurs unités.

b) LE DEGRE D'INDUSTRIALISATION

La nature de l'industrialisation étant de **justifier quantitativement un procédé capable en retour de simplifier la production d'objets complexes,** nous pouvons mesurer le degré d'industrialisation selon le niveau de simplification apporté par un système par rapport à la construction artisanale.

Cinq (5) degrés d'industrialisation sont généralement admis dans le domaine des systèmes constructifs; nous les énumérons ci-après dans un ordre hiérarchique correspondant au pointage attribuable (#2).

1- **La PREFABRICATION** i.e. procédé semblable à la construction traditionnelle mais fabrication en usine;

2- **La MECANISATION** i.e. recours à un outillage mécanisé pour alléger le travail de l'ouvrier;

3- **L'AUTOMATION** i.e. l'outil remplace complètement l'ouvrier;

4- **La ROBOTISATION** i.e. le même outil exécute plusieurs tâches diversifiées;

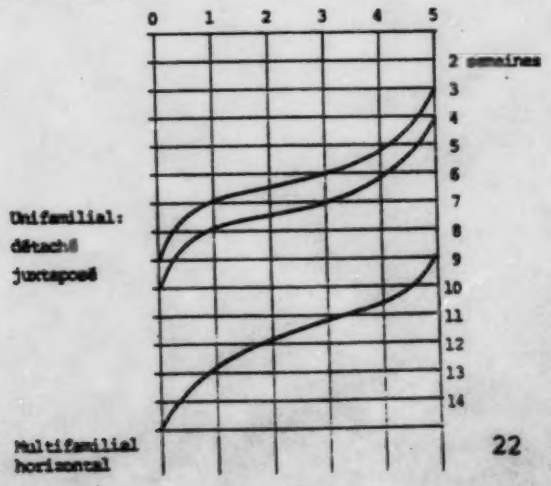
5- **La REPRODUCTION** i.e. technologie innovante capable de réduire le nombre d'opérations rattachées à la production de chaque unité.

L'évaluation doit normalement se faire au niveau des sous-systèmes; les fractions représentant une satisfaction partielle d'un degré d'industrialisation peuvent s'additionner jusqu'à concurrence d'une ou plusieurs unités.

c) **LA DUREE DES TRAVAUX**

En plus d'engendrer des avantages ou inconvénients sur le plan opérationnel, notamment en raison des variables climatiques, la durée des travaux va aussi conditionner le financement intérimaire du projet et de là influencer directement le coût total de la construction.

Nous mesurons ici la durée totale des travaux au chantier (incluant les opérations non-attribuables au système en tant que tel) et nous faisons directement appel à une courbe de sensibilité pour étaler de façon significative la variable "durée des travaux" (allant de 3 à 15 semaines) sur l'échelle 1 à 5.



7.3 CRITERES QUALITATIFS ("d" & "e")

L'étude veut également tenir compte de l'impact qualitatif qu'ont les systèmes sur les édifices qu'ils engendrent. A cette fin les deux (2) critères suivants nous apparaissent à la fois pertinents et mesurables objectivement: la souplesse architecturale et la qualité des joints.

d) LA SOUPLESSE ARCHITECTURALE

Ce critère vise à articuler la capacité du système à permettre une planification diversifiée et à s'adapter aux changements en cours d'occupation.

Chacune des caractéristiques suivantes mérite un (1) point sur l'échelle "1 @ 5":

- diversité de largeur lors de la planification, par multiple de 30 cm;
- diversité de longueur lors de la planification, par multiple de 30 cm;
- diversité de hauteur lors de la planification, par multiple de 10 cm;
  possibilité de modifier deux cloisons parallèles de la même pièce, en cours d'usage;
- possibilité de croissance en reliant deux logements contigus, en cours d'usage.

e) LA QUALITE DES JOINTS

Un système vaut ce que valent les joints. Nous allons en exprimer la qualité à l'aide d'un pointage attribué par expertise, à raison d'un (1) point pour chacun des aspects suivants:

- ingéniosité;
- simplicité;
- précision;
- solidité;
- continuité du bris thermique.

8. LES RESULTATS

Le lecteur trouvera ci-après deux séries de tableaux affichant les résultats de l'évaluation des systèmes sélectionnés et ce pour chacune des trois densités au programme.

La première série apporte une ventilation des données économiques.

La seconde série présente une synthèse des résultats: les résultats économiques sont exprimés à l'aide du coût unitaire de construction; les résultats reliés aux critères techniques & qualitatifs sont obtenus à partir des pointages exprimés généralement sur l'échelle "1 @ 5". Le lecteur trouvera à l'annexe "A" une fiche d'évaluation explicative des résultats pour chaque système.

Une brève analyse des résultats complète le tout.

8.1 TABLEAUX DES DONNEES ECONOMIQUES POUR CHACUNE DES TROIS DENSITES AU PROGRAMME:

8.1.1 L'UNIFAMILIAL DETACHE

EVALUATION ECONOMIQUE
Maison unifamiliale
100m2

S:Cout inclus dans le systeme
*:Cout differentiel du systeme

PLAN A ou B	TRADITIONNEL BOIS	PANNEAUX OUVERTS	PANNEAUX CAISSONS	PANNEAUX ISO.RIGIDE	MAISONS MODULAIRES	COFFRAGES PERMANENTS
COUT DU SYSTEME		23 000$	25 000$	3 050$	45 000$	23 500$
COUTS DE CONSTRUCTION						
Excavation remblais	2 900$	2 900$	2 900$	2 900$	2 900$	2 900$
Coffrage	2 550$	2 550$	2 550$	2 550$	2 550$	S
Beton	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	S
Pompe a beton	500$	500$	500$	500$	500$	S
Acier d'armature	300$	300$	300$	300$	300$	S
Goudron	150$	150$	150$	150$	150$	S
Finition de dalle	450$	450$	450$	450$	450$	S
Crepi	350$	350$	350$	350$	350$	S
Materiaux(bois,isol.etc.	9 000$	S	* 500$	* 6 920$	S	* 1 100$
Menuiserie brute	8 500$	S	* 400$	8 500$	* 700$	* 900$
Fermes de toit	2 050$	S	S	2 050$	S	2 050$
Couvreur (bardeaux)	1 600$	S	S	1 600$	S	1 600$
Plomberie	4 500$	4 500$	4 500$	4 500$	* 1 600$	4 500$
Electricite	3 500$	3 500$	3 500$	3 500$	* 400$	3 500$
Gypse (pose et materiel)	4 500$	4 500$	* 7 000$	4 500$	* 1 400$	* 7 000$
Fenetres,portes ext.	4 500$	S	4 500$	4 500$	S	4 500$
Maconnerie	1 400$	1 400$	1 400$	1 400$	1 400$	1 400$
Aluminium	3 000$	3 000$	3 000$	3 000$	S	3 000$
Ceramique	1 000$	1 000$	1 000$	1 000$	S	1 000$
Bois de finition	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	S	2 000$
Escalier et rampe	1 100$	1 100$	1 100$	1 100$	S	1 100$
Armoires	3 500$	3 500$	3 500$	3 500$	S	3 500$
Menuiserie de finition	1 000$	1 000$	1 000$	1 000$	S	1 000$
Peinture	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$
Tapis	3 200$	3 200$	3 200$	3 200$	3 200$	3 200$
Fixtures	500$	500$	500$	500$	S	500$
Miroir	300$	300$	300$	300$	S	300$
Prefilage (tel.cable)	150$	150$	150$	150$	S	150$
Nettoyage	150$	150$	150$	150$	150$	150$
Frais generaux	7 000$	5 000$	7 000$	7 000$	* 3 000$	6 000$
TOTAL	74 850$	70 200$	82 100$	75 820$	69 250$	76 050$
COUT au M 2	749$	702$	821$	758$	693$	761$

EVALUATION ECONOMIQUE
Maison unifamiliale juxtaposee
130m2

$:Cout inclus dans le systeme
*:Cout differentiel

PLAN A ou B	TRADITIONNEL BOIS	MACONNERIE PORTEUSE	BETON IN SITU	PANNEAUX OUVERTS	PANNEAUX CAISSONS	PANNEAUX ISO. RIGIDE	MAISONS MODULAIRES	COFFRAGES PERMANENTS	PANNEAUX BETON
COUT DU SYSTEME		18 500$		24 500$	30 560$	5 880$	70 000$	27 800$	35 200$
COUTS DE CONSTRUCTION									
Excavation remblais	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$
Coffrage	2 200$	2 200$	* 11 250$	2 200$	2 200$	2 200$	2 200$	$	2 200$
Beton	3 000$	3 000$	* 5 500$	3 000$	3 000$	3 000$	3 000$	$	3 000$
Pompe a beton	500$	500$	* 2 000$	500$	500$	500$	500$	$	500$
Acier d'armature	200$	200$	* 5 000$	200$	200$	200$	200$	$	200$
Goudron	150$	150$	150$	150$	150$	150$	150$	$	150$
Finition de dalle	375$	375$	375$	375$	375$	375$	375$	$	375$
Crepi	200$	200$	200$	200$	200$	200$	200$	$	200$
Materiaux(bois,isol.etc.	9 000$	* 1 000$	* 1 000$	$	* 400$	* 5 100$	$	* 800$	* 1 000$
Menuiserie brute	10 000$	* 1 500$	* 1 500$	$	* 600$	10 000$	* 800$	* 600$	* 1 500$
Fermes de toit	1 600$	1 600$	1 600$	$	$	1 600$	$	1 600$	1 600$
Couvreur (bardeaux)	900$	900$	900$	$	$	900$	$	900$	900$
Plomberie	5 000$	5 000$	5 000$	5 000$	5 000$	5 000$	* 2 000$	5 000$	5 000$
Electricite	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	* 500$	4 000$	4 000$
Gypse (pose et materiel)	5 250$	* 14 800$	* 14 800$	5 250$	* 10 000$	5 250$	* 2 000$	* 8 000$	* 10 500$
Fenetres,portes ext.	5 500$	5 500$	5 500$	$	5 500$	5 500$	$	5 500$	5 500$
Maconnerie	5 750$	5 750$	5 750$	5 750$	5 750$	5 750$	5 750$	5 750$	5 750$
Aluminium	850$	850$	850$	850$	850$	850$	$	850$	850$
Ceramique	1 300$	1 300$	1 300$	1 300$	1 300$	1 300$	$	1 300$	1 300$
Bois de finition	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	2 000$	$	2 000$	2 000$
Escalier et rampe	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	$	1 600$	1 600$
Armoires	3 500$	3 500$	3 500$	3 500$	3 500$	3 500$	$	3 500$	3 500$
Menuiserie de finition	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$	$	1 200$	1 200$
Peinture	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$	1 600$
Tapis	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$	4 000$
Fixteres	500$	500$	500$	500$	500$	500$	$	500$	500$
Miroir	300$	300$	300$	300$	300$	300$	$	300$	300$
Profilage (tel.cable)	150$	150$	150$	150$	150$	150$	$	150$	150$
Nettoyage	150$	150$	150$	150$	150$	150$	150$	150$	150$
Frais generaux	7 500$	7 500$	7 500$	6 000$	7 500$	7 500$	* 3 000$	6 000$	7 500$
TOTAL	80 275$	91 825$	91 175$	76 275$	95 085$	82 255$	98 425$	85 100$	104 225$
COUT au M 2	618$	708$	701$	587$	731$	633$	757$	655$	802$

EVALUATION ECONOMIQUE
Multifamilial 12 logements
3 etages hors terre
1250m2

S:Cout inclus dans le systeme
*:Cout differentiel

PLAN A ou B	TRADITIONNEL BOIS	MACONNERIE PORTEUSE	BETON IN SITU	PANNEAUX OUVERT	PANNEAUX ISO RIGIDE	MAISONS MODULAIRES	COFFRAGES PERMANENTS	PANNEAUX BETON
COUT DU SYSTEME		182 550$		220 000$	39 200$	590 000$	284 000$	273 900$
COUTS DE CONSTRUCTION								
Excavation remblais	16 000$	16 000$	16 000$	16 000$	16 000$	16 000$	16 000$	16 000$
Coffrage	12 000$	12 000$	* 87 500$	12 000$	12 000$	12 000$	S	12 000$
Beton	19 550$	19 550$	* 52 000$	19 550$	19 550$	19 550$	S	19 550$
Pompe a beton	1 150$	1 150$	* 7 500$	1 150$	1 150$	1 150$	S	1 150$
Acier d'armature	3 000$	3 000$	* 32 500$	3 000$	3 000$	3 000$	S	3 000$
Goudron	500$	500$	500$	500$	500$	500$	S	500$
Finition de dalle	2 250$	2 250$	* 10 500$	2 250$	2 250$	2 250$	S	2 250$
Materiaux(bois,isol.etc.	110 000$	* 9 000$	* 9 000$	S	* 83 400$	S	* 9 000$	S
Menuiserie brute	64 000$	* 10 000$	* 10 000$	S	64 000$	S	* 10 000$	S
Fermes de toit	15 500$	15 500$	* 15 500$	S	15 500$	S	15 500$	S
Couvreur (bardeaux)	3 200$	3 200$	3 200$	S	3 200$	S	3 200$	S
Plomberie	41 000$	41 000$	41 000$	41 000$	41 000$	* 20 000$	41 000$	41 000$
Electricite	36 000$	36 000$	36 000$	36 000$	36 000$	* 6 000$	36 000$	36 000$
Gypse (pose et materiel)	39 000$	* 98 000$	* 98 000$	39 000$	39 000$	* 15 000$	* 65 000$	* 71 500$
Fenetres,portes ext.	29 500$	29 500$	29 500$	S	29 500$	S	* 27 500$	29 500$
Maconnerie	48 000$	48 000$	48 000$	48 000$	48 000$	48 000$	48 000$	48 000$
Aluminium	12 000$	12 000$	12 000$	12 000$	12 000$	S	12 000$	12 000$
Ceramique	13 500$	13 500$	13 500$	13 500$	13 500$	S	13 500$	13 500$
Bois de finition	13 800$	13 800$	13 800$	13 800$	13 800$	S	13 800$	13 800$
Escalier,rampe,balcon	31 000$	31 000$	31 000$	31 000$	31 000$	S	S	31 000$
Armoires	26 400$	26 400$	26 400$	26 400$	26 400$	S	26 400$	26 400$
Menuiserie de finition	11 500$	11 500$	11 500$	11 500$	11 500$	S	11 500$	11 500$
Peinture	12 000$	12 000$	12 000$	12 000$	12 000$	12 000$	12 000$	12 000$
Tapis	22 000$	22 000$	22 000$	22 000$	22 000$	22 000$	22 000$	22 000$
Fixtures	8 000$	8 000$	8 000$	8 000$	8 000$	S	8 000$	8 000$
Miroir	1 500$	1 500$	1 500$	1 500$	1 500$	S	1 500$	1 500$
Prefilage (tel.cable)	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$	1 200$	S	1 200$	1 200$
Nettoyage	1 000$	1 000$	1 000$	1 000$	1 000$	1 000$	1 000$	1 000$
Alloc. amenag. sous-sol	24 000$	24 000$	24 000$	24 000$	24 000$	24 000$	24 000$	24 000$
Frais generaux	52 000$	52 000$	52 000$	42 000$	52 000$	* 20 000$	* 38 000$	52 000$
TOTAL	670 550$	757 100$	726 600$	658 350$	683 150$	812 450$	740 100$	784 250$
COUT au M 2	536$	606$	581$	527$	547$	650$	592$	627$

8.2 TABLEAUX SYNTHESE ET BREVE ANALYSE DES RESULTATS

8.2.1 L'UNIFAMILIAL DETACHE

	COUT	a- AMPLITUDE DU SYSTEME	b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION	c- DUREE DES TRAVAUX	d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE	e- QUALITE DES JOINTS
1.1 OSSATURE DE BOIS	749	5	0	0	5	2
2.1 PANNEAUX A OSSATURE OUVERTE	702	2	1	1	5	2
2.2 PANNEAUX CAISSONS	821	3	2	3	3	4
2.3 PANNEAUX COMPOSITES ISO. RIGIDE	758	1	2	0	5	3
2.4 MAISONS MODULAIRES	693	5	2	4	3	3
2.5 COFFRAGES PERMANENTS	761	2	2	0	3	5
3.1 PANNEAUX SANDWICHS	749	2	2	1	3	5
4.1 PANNEAUX LEGERS PAR AUTOMATION	757	3	3	4	5	5
4.2 MODULES A ARETES D'ACIER	955	5	4	5	4	4

BREVE ANALYSE DES RESULTATS DE L'UNIFAMILIAL DETACHE

Un premier système se distingue au niveau de **l'UNIFAMILIAL DETACHE: les MAISONS MODULAIRES PRE-USINEES.** Non seulement est-ce la solution la plus économique, mais elle se situe également en première ligne au niveau des critères techniques et qualitatifs.

L'investissement requis en équipement peut sembler élevé au départ, mais il ne faut pas oublier que la quantité de maisons produites vient en fractionner l'impact sur le coût de chaque maison, conformément à la définition même de l'industrialisation. C'est effectivement cet équipement qui permet aux maisons usinées de l'emporter au Québec, malgré un contexte où la demande est encore loin d'atteindre la capacité de production: certaines usines opèrent présentement à 40% ou 50% de leur capacité maximale pour un seul "quart de travail".

Les **PANNEAUX A OSSATURE OUVERTE** se retrouvent dans le même ordre de grandeur au niveau coût. Ce système utilise exactement les mêmes principes et matériaux que la construction traditionnelle, sauf qu'il fait appel à une main-d'oeuvre en usine, moins onéreuse, et profite ainsi des avantages de la préfabrication signalés au point 4.2; le fait de fermer l'enveloppe extérieure en moins de 2 jours réduit également les frais de chantier.

Un coût additionnel d'environ 10% caractérise le groupe suivant, composé de cinq systèmes dont trois sont des variantes de l'ossature de bois: l'**OSSATURE DE BOIS** traditionnelle elle-même, les **PANNEAUX LEGERS** suédois **ASSEMBLES PAR AUTOMATION** et les **PANNEAUX COMPOSITES AVEC ISOLANT RIGIDE.** Par contre, les panneaux suédois offrent une qualité nettement supérieure aux autres.

Les deux autres systèmes sont innovants et prometteurs: les panneaux sandwichs et le coffrage permanent. Le **PANNEAU SANDWICH** se distingue en raison de son procédé qui s'apparente à ce que l'on a défini comme "Reproduction" et ses joints sont très ingénieux et efficaces à la fois.

Les **COFFRAGES PERMANENTS** offrent une solution de type "HYBRIDE" usinant un "KIT" d'attaches métalliques ou plastiques et des méga-blocs de polystyrène; le tout se monte facilement au chantier et permet de couler une charpente de béton monolithe qui, en plus de ses qualités intrinsèques, affiche un rendement thermique hors du commun et compense facilement pour la différence de coût.

Il faut éviter de tirer des conclusions des coûts des **MODULES A ARETES D'ACIER** japonais: un retour du taux de change d'avant 1985 leur permettrait probablement de dépasser tous les autres systèmes tant sur le plan économique que qualitatif.

8.2.2 L'UNIFAMILIAL JUXTAPOSE

	COUT	a- AMPLITUDE DU SYSTEME	b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION	c- DUREE DES TRAVAUX	d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE	e- QUALITE DES JOINTS
1.1 OSSATURE DE BOIS	618	5	0	1	4	2
1.2 MACONNERIE PORTEUSE	706	2	1	0	3	3
1.3 BETON MONOLITHE IN SITU	701	1	1	0	3	2
2.1 PANNEAUX A OSSATURE OUVERTE	587	2	1	4	4	2
2.2 PANNEAUX CAISSONS	731	3	2	3	3	4
2.3 PANNEAUX COMPOSITES ISO. RIGIDE	633	1	2	1	4	3
2.4 MAISONS MODULAIRES	757	5	2	5	3	3
2.5 COFFRAGES PERMANENTS	655	2	2	0	3	5
3.1 PANNEAUX SANDWICHS	618	2	2	4	3	5
3.2 PANNEAUX PREFAB. EN BETON	802	2	2	3	3	3
4.1 PANNEAUX LEGERS PAR AUTOMATION	719	3	3	5	4	5
4.2 MODULES A ARETES D'ACIER	1050	5	4	5	3	4

BREVE ANALYSE DES RESULTATS DE L'UNIFAMILIAL JUXTAPOSE

L'UNIFAMILIAL JUXTAPOSE nous montre une situation ambiguë. La solution **PANNEAUX A OSSATURE OUVERTE** prend la tête sur le plan économique, suivie de près (+8%) par l'**OSSATURE DE BOIS** traditionnelle et par les **PANNEAUX SANDWICHS.** Un peu plus loin, avec un écart de + 2 à + 5% viennent les **PANNEAUX COMPOSITES AVEC ISOLANT RIGIDE** et les **COFFRAGES PERMANENTS.**

Ce n'est pas le hasard qui situe dans le même créneau de couts 3 sur 5 des solutions basées sur l'ossature de bois: alors que le traditionnel exige peu d'équipement, l'investissement requis pour le panneau préfabriqué vient rapatrier la main-d'oeuvre épargnée au chantier. Dans tous les cas il s'agit du même matériau, d'assemblages comparables et d'un montage similaire. En d'autres mots, le fait de préfabriquer en usine un panneau en bois "para-traditionnel" (i.e. qui se rapproche de la construction traditionnelle) n'apporte pas de différence significative: la logique l'explique, les comparaisons établies ci-avant le confirment.

Les deux autres solutions font appel à des utilisations innovantes de l'isolant rigide: comme âme structurale dans le cas des panneaux sandwichs et comme coffrage dans le cas des coffrages permanents.

Or dans le cas des coffrages permanents, les critères révèlent une qualité nettement supérieure, ne serait-ce qu'en raison des murs en béton monolithe et du rendement en matière d'ignifugation et d'isolation thermique qu'ils fournissent. Voilà un système ingénieux, opérant directement au chantier à partir de composantes industrialisées et sous-traitées (donc investissement minimal).

Les **MAISONS MODULAIRES** sont certainement défavorisées ici, en raison de la grue requise pour la superposition des modules, de la double composition plafond-plancher et du fait qu'il faut transporter et raccorder sur place les quatres modules.

L'avertissement donné au sujet des **MODULES A ARETES D'ACIER** pour l'unifamilial détaché s'applique également à l'unifamilial juxtaposé.

8.2.3 LE MULTIFAMILIAL HORIZONTAL

	COUT	a- AMPLITUDE DU SYSTEME	b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION	c- DUREE DES TRAVAUX	d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE	e- QUALITE DES JOINTS
1.1 OSSATURE DE BOIS	536	5	0	2	5	2
1.2 MACONNERIE PORTEUSE	606	2	1	0	3	3
1.3 BETON MONOLITHE IN SITU	581	1	1	0	3	2
2.1 PANNEAUX A OSSATURE OUVERTE	527	2	1	5	5	2
2.3 PANNEAUX COMPOSITES ISO. RIGIDE	547	1	2	2	5	3
2.4 MAISONS MODULAIRES	650	5	2	5	3	3
2.5 COFFRAGES PERMANENTS	592	2	2	0	3	5
3.2 PANNEAUX PREFAB. EN BETON	627	2	2	3	3	3
4.1 PANNEAUX LEGERS PAR AUTOMATION	684	3	3	5	5	5

BREVE ANALYSE DES RESULTATS DU MULTIFAMILIAL HORIZONTAL

Quant au **MULTIFAMILIAL HORIZONTAL,** la situation est semblable à l'unifamilial juxtaposé: au niveau des coûts, le traditionnel & ses versions préfabriquées prennent la tête. Pas tellement loin (+ 6 @ 13%), le **BETON ARME,** la **MACONNERIE PORTEUSE** et les **COFFRAGES PERMANENTS** se positionnent avec des avantages d'ignifugation et d'insonorisation nettement plus évidents: avantages qui peuvent facilement justifier un prix de vente plus élevé.

Les **PANNEAUX PREFABRIQUES EN BETON** sont plus coûteux, pour les motifs signalés précédemment; toutefois, leur rapidité de montage au chantier permet de rentabiliser plus tôt un terrain généralement très dispendieux en raison même de la densité recherchée, ce qui peut réduire d'autant le coût total du projet.

A 123,00 $ le mètre carré de plus que les panneaux à ossature ouverte, les **MAISONS MODULAIRES** sont trop chères; par contre, leur insonorisation est nettement supérieure de par l'autonomie des parois propres à chaque boîte.

9. CONCLUSION

S'il n'est pas étonnant de voir le traditionnel de même que le préfabriqué basé sur le traditionnel l'emporter dans deux cas sur trois au niveau des coûts, il est important de retenir que les solutions industrialisées de type **VOLUME USINE** (la maison modulaire) et de type **"HYBRIDE"** (le coffrage permanent) livrent une compétition prometteuse surtout si l'on tient compte du fait qu'une augmentation du marché leur permettrait de fractionner encore plus l'amortissement et de réduire les coûts à un niveau auquel le traditionnel ne serait plus en mesure de combattre.

Il faut souligner que les solutions industrialisées offrent une qualité supérieure; tant au niveau des détails (vg maisons usinées) qu'au niveau même du matériau employé (vg coffrages permanents).

Deux avenues sont particulièrement prometteuses:

- Pour **L'UNIFAMILIAL, le MODULE USINE** amélioré qui ferait appel à la technologie de la paroi contrainte ou au panneau sandwich sur le plan économie de matière (impact positif sur l'écologie car deux fois moins de bois est requis) et à l'automation sur le plan économie de main-d'oeuvre; on peut s'attendre à des résultats qualitatifs similaires à ceux obtenus avec les systèmes suédois.

- Pour le **MULTIFAMILIAL,** le béton reste la façon simple d'insonoriser et d'ignifuger; le bois n'y arrive qu'indirectement et les performances ne sont pas vraiment comparables; ici les **COFFRAGES PERMANENTS** ont démontré leur avance quoique d'autres solutions restent à être expérimentées au Québec.

Les systèmes de construction industrialisés offrent tout au moins une solution de rechange valable et qualitativement supérieure à une construction traditionnelle dont les coûts semblent souvent protégés par l'aspect sécurisant qu'elle présente aux yeux des constructeurs, des promoteurs et de la main-d'oeuvre en général.

ANNEXE "A"

FICHES DESCRIPTIVES DES SYSTEMES ETUDIES

Chacun des douze (12) systèmes sélectionnés fait ci-après l'objet d'une description de deux pages.

La première page précise la nature du système à l'aide d'une illustration et d'un commentaire sur les sous-systèmes concernés; les éléments hors-systèmes étant comblés de façon traditionnelle.

La seconde constitue la fiche d'évaluation proprement dite et explique les résultats qui se retrouvent aux tableaux du chapitre "8".

Les systèmes sont présentés dans l'ordre établi au chapitre "5":

1 METHODES DE CONSTRUCTION TRADITIONNELLES PRESENTEMENT EN VIGUEUR AU QUEBEC

1.1 OSSATURE DE BOIS
1.2 MACONNERIE PORTEUSE
1.3 BETON MONOLITHE COULE IN SITU

2 SYSTEMES USINES PRESENTEMENT DISPONIBLES AU QUEBEC

2.1 PANNEAUX LEGERS @ OSSATURE OUVERTE
2.2 PANNEAUX CAISSONS @ PAROIS CONTRAINTES
2.3 PANNEAUX COMPOSITES AVEC ISOLANT RIGIDE
2.4 MAISONS MODULAIRES PRE-USINEES
2.5 COFFRAGES PERMANENTS A BASE D'ISOLANT RIGIDE

3 SYSTEMES USINES PROSPECTIVEMENT DISPONIBLES AU QUEBEC

3.1 PANNEAUX SANDWICHS
3.2 PANNEAUX PREFABRIQUES EN BETON

4 SYSTEMES USINES EN USAGE A L'ETRANGER ET PRESENTANT UN INTERET AU QUEBEC

4.1 PANNEAUX LEGERS @ OSSATURE DE BOIS ASSEMBLES PAR AUTOMATION
4.2 MODULES USINES @ ARETES STRUCTURALES EN ACIER

A-1.1 OSSATURE DE BOIS

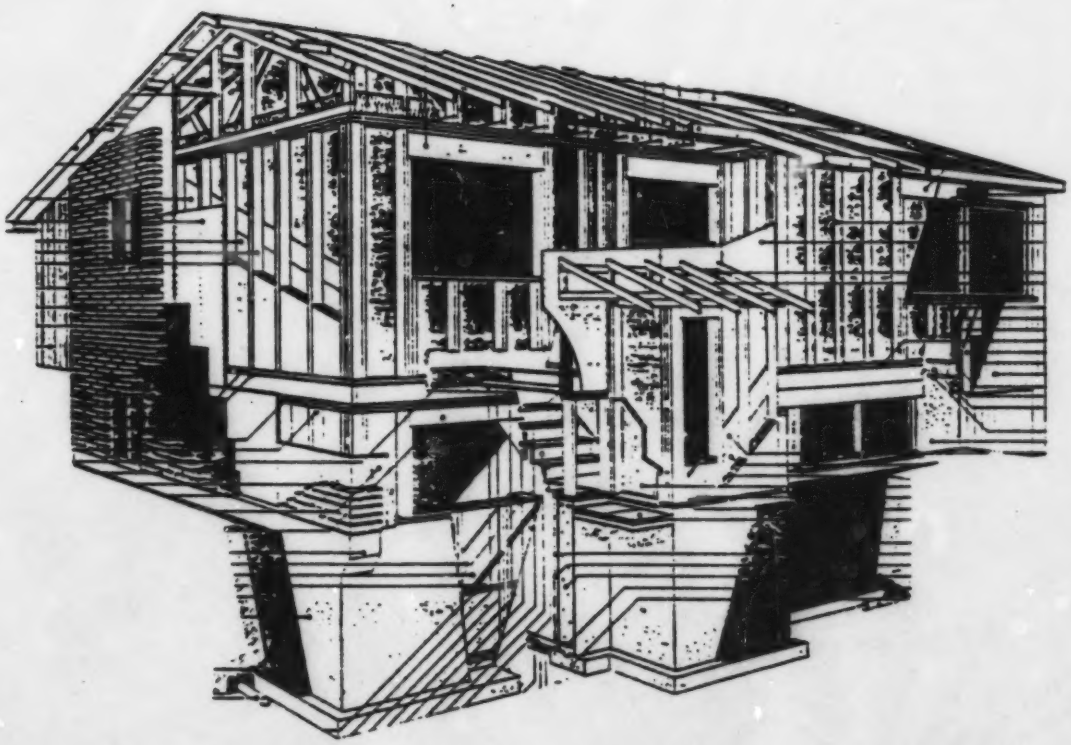
Solution la plus courante au Québec, tant au niveau de l'unifamilial que du multifamilial (#3).

- **CHARPENTE VERTICALE** par colombages de bois solide généralement à espaces de 16"c/c de façon à coïncider avec les plaques de revêtement de 4' X 8'; **CHARPENTE HORIZONTALE** par solives solides ou poutrelles ajoutées/composites offrant une portée de 6 @ 7 mètres.

- **ENVELOPPE** intégrée: parement/revêtement mural - barrière à l'air/ isolation thermique intercalée (et superposée) coupe vapeur/ revêtement intérieur généralement en plaque de gypse.

- **CLOISONNEMENT INTERIEUR** contribuant au contreventement et à la charpente; de même nature que cette dernière.

- **SERVICE** électriques et mécaniques intégrés.



A-1.1 CONSTRUCTION A OSSATURE DE BOIS (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	749 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	618 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	536 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration de tous les sous-systèmes;	5
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Généralement artisanal	0
c- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: 8 semaines	0
- Unifamilial juxtaposé: 8 semaines	1
- Multifamilial horizontal: 12 semaines	2
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Complète, en raison notamment de la souplesse même du matériau et de la méthode. Transformation facile, limitée uniquement par les plans porteurs, bien que des transferts soient possibles.	5 (uj:4)
e- QUALITE DES JOINTS: Limités par les mouvements du matériau en raison de sa nature organique et de son degré d'humidité. Imprécision et instabilité dus au clouage.	2
- Insonorisation: mesures spéciales pour dépasser STC 45 au plancher-plafond et aux mu murs du multifamilial horizontal.	
- Isolation thermique: généralement murs R-20 et toiture R-40, ossature agissant comme bris thermique partiel.	

A.1.2 MAÇONNERIE PORTEUSE &

a- **POUTRELLES D'ACIER** (incluant la méthode composite) ou

b- **DALLES PRECONTRAINTES EVIDEES**

Principalement pour le **multifamilial horizontal,** occasionnellement pour **l'unifamilial juxtaposé (#4).**

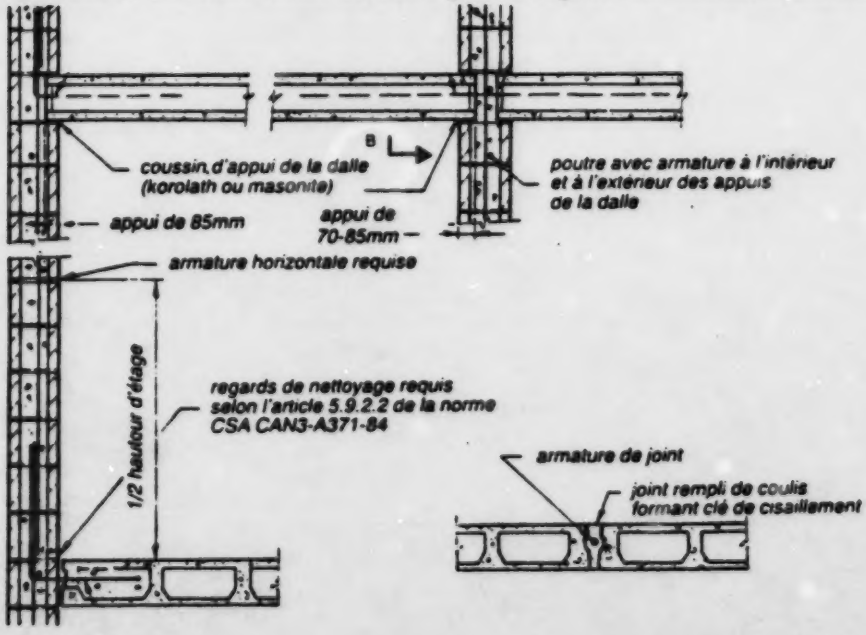
- **CHARPENTE** par composantes standards: blocs de béton posés artisanalement, poutrelles d'acier ou dalles extrudées en béton précontraint (lesquelles nécessitent une grue).

  La méthode **COMPOSITE (#5)** est constituée d'une poutrelle d'acier avec ancrage pour une dalle de béton coulée in situ à l'aide d'un coffrage temporaire supporté à même ladite poutrelle. Dans le cas d'une autoconstruction, possibilité de recourir au bloc de béton léger embouveté à sec.

- **ENVELOPPE:** possibilité de laisser la maçonnerie apparente en isolant de l'intérieur, mais avec pont thermique à la rencontre mur-dalle; autrement, parement extérieur et isolation contre la face extérieure du bloc.

- **CLOISONNEMENT:** plaque de gypse sur ossature métallique légère.

- **SERVICES:** distribution électrique intégrée au cloisonnement.



(#4)

A.1.2 **MAÇONNERIE PORTEUSE** (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	N/A
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	706 $/m2
Coût du multifamilial horizontal:	606 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration charpente et partie de l'enveloppe (murs de refends) et du cloisonnement. Perméabilité aux services avec l'option composite	2
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Bloc produit par automation; poutrelles et dalles précontraintes par mécanisation, mortier et béton de compression posés in situ. L'ensemble peut être donné en sous-traitance.	1
c- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: N/A	
- Unifamilial juxtaposé: 9 semaines	0
- Multifamilial horizontal: 14 semaines	0
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Diversité à la planification, transformation limitée par les murs porteurs et les dalles et à un degré moindre par le composite.	3
e- QUALITE DES JOINTS: Simplicité du joint au mortier, mais précision variable. Distinction à souligner entre la maçonnerie, les interfaces avec elle (mortier)et ce qui en est indépendant.	3
- Etanchéité conditionnée par l'application du principe "écran-à-la-pluie".	
- Insonorisation avantagée par la masse de maçonnerie, mais nécessité de surveiller les joints et d'ajouter un revêtement sur fourrures.	
- Pont thermique aux planchers avec la dalle si la maçonnerie est exposée à l'extérieur.	

A.1.3 BETON MONOLITHE COULE IN SITU

A l'aide de coffrages traditionnels en contreplaqué ou de coffrages mécanisés comme les coffrages volants (#6) ou autres;

Universellement utilisé pour le multifamilial vertical, le béton monolithe n'en demeure pas moins fort populaire même pour le multifamilial horizontal et l'unifamilial juxtaposé dans plusieurs pays; en raison de sa facilité à procurer rigidité, ignifugation et insonorisation.

- **CHARPENTE** verticale & horizontale monolithe par définition; les murs étant généralement des segments d'une longueur suffisante pour rencontrer les exigences purement structurales, le reste étant comblé par bloc de béton ou gypse sur ossature métallique.

- **ENVELOPPE, CLOISONNEMENT & SERVICES.**
  Tel que pour maçonnerie porteuse.

A.1.3 BETON MONOLITHE COULE IN SITU (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	N/A
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	701 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	581 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Limité à la charpente; possibilité de laisser le mur de bout apparent, mais pont thermique.	1
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Artisanal, amélioré par des banches modulaires/mécanisées	1
d- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: N/A	
- Unifamilial juxtaposé: 10 semaines	0
- Multifamilial horizontal: 15 semaines	0
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Complète; transformation limitée par la charpente	3
e- QUALITE DES JOINTS: Simplicité et solidité apportées par le monolithisme de la charpente et la possibilité de laisser des "insertions" lors du coffrage.	2
- Insonorisation: à elle seule, la charpente donne STC 55 aux murs, 45 au plancher-plafond.	
- Bris thermique conditionné par une enveloppe complètement extérieure i.e. pas de béton apparent à l'extérieur.	

A.2.1 PANNEAUX LEGERS @ OSSATURE OUVERTE (isolant non rigide)

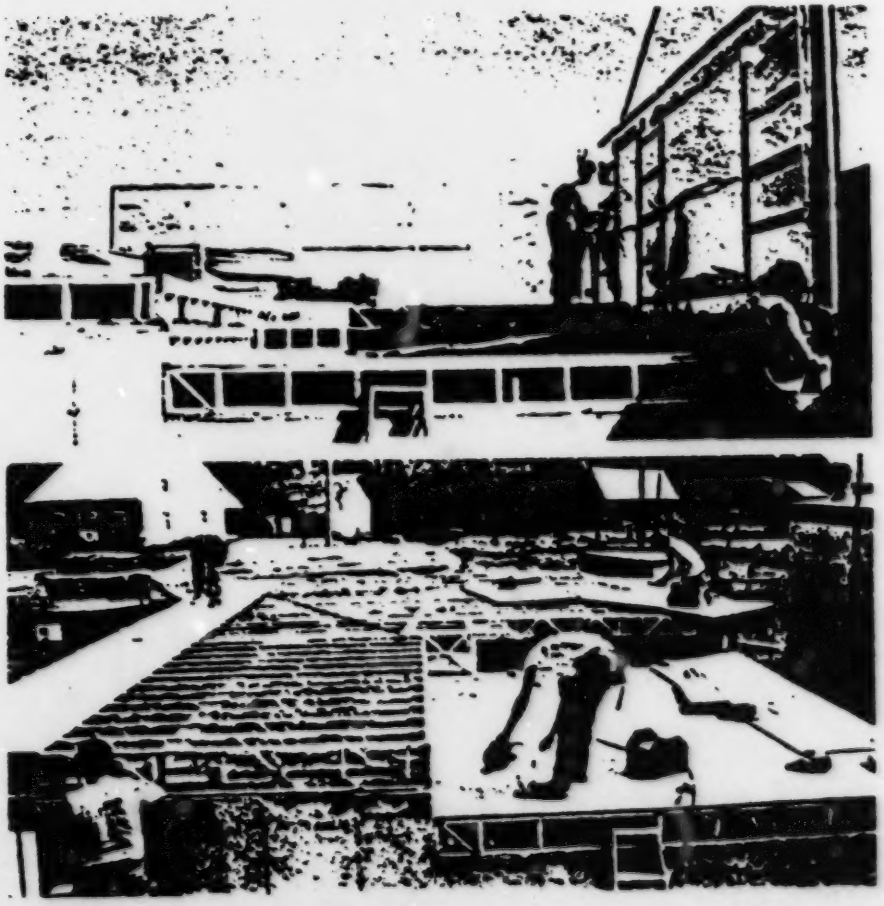
Réalisation en usine du montage des murs et planchers-toits de la construction à ossature de bois afin de bénéficier des avantages inhérents à la préfabrication (#8).

- **CHARPENTE:** la version la plus élémentaire consiste à monter en usine le même mur qu'au chantier i.e. colombage 2" X 6" & contre-ventement. Idem pour le plancher-plafond.

- **ENVELOPPE:** ajout de l'isolant (non rigide), de la barrière à l'air et à l'occasion de la finition brute.

- **CLOISONNEMENT:** tel que pour la charpente.

- **SERVICES:** possibilité d'intégrer la distribution électrique.



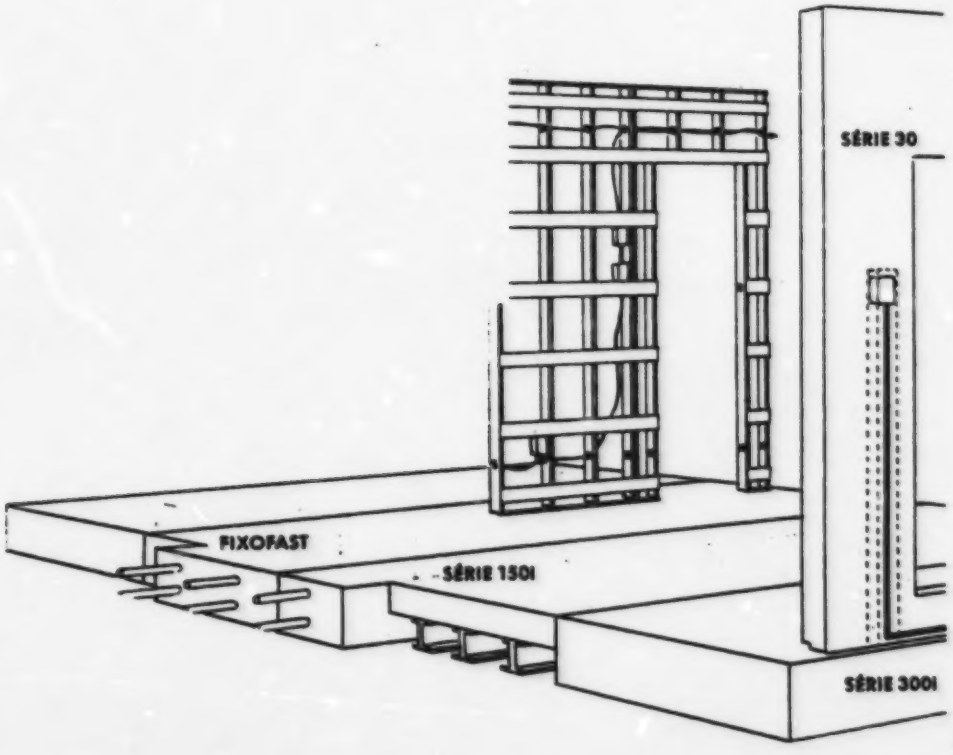
A.2.1 PANNEAUX LEGERS AVEC OSSATURE OUVERTE (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	702 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	587 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	527 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME:	2
Intégration charpente/enveloppe et cloisonnement en partie (revêtement en acier).	
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION:	1
Traditionnel profitant simplement des avantages de l'usine.	
d- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: 7 semaines	1
- Unifamilial juxtaposé: 6 semaines	4
- Multifamilial horizontal: 10 semaines	5
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE:	5 (uj:4)
Comparable à l'ossature de bois montée in situ.	
e- QUALITE DES JOINTS:	2
Problèmes de tolérances et instabilité apportée par le clouage. Les autres conditions sont semblables à l'ossature de bois traditionnelle.	

A.2.2 PANNEAUX CAISSONS @ PAROIS CONTRAINTES

Usinage de caissons à parois contraintes entièrement à partir de panneaux gaufrés: économie de matière, intégration isolant/filage et simplification du montage au chantier. L'adhésif (généralement à base phénolique) crée une continuité qui transforme nervures et parois en une série de caissons; avec le résultat que les nervures peuvent se construire à l'aide du même matériau mince que la paroi (#9).

- **CHARPENTE:** horizontale et verticale par caisson, finition à compléter de façon traditionnelle.
- **ENVELOPPE:** intégrée à la charpente, isolation thermique incorporée à l'intérieur du caisson; revêtement à compléter in situ.
- **CLOISONNEMENT:** panneaux à ossature avec fourrures pour accueillir le gypse.
- **SERVICES:** distribution électrique incorporée.



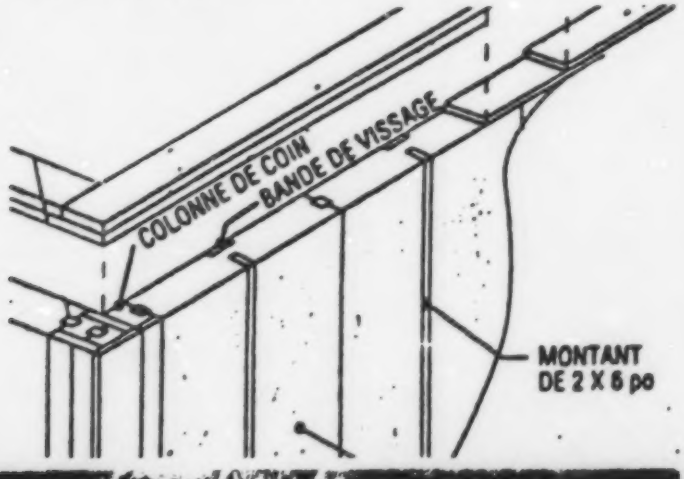
A.2.2 PANNEAUX CAISSONS A PAROIS CONTRAINTES (suite)

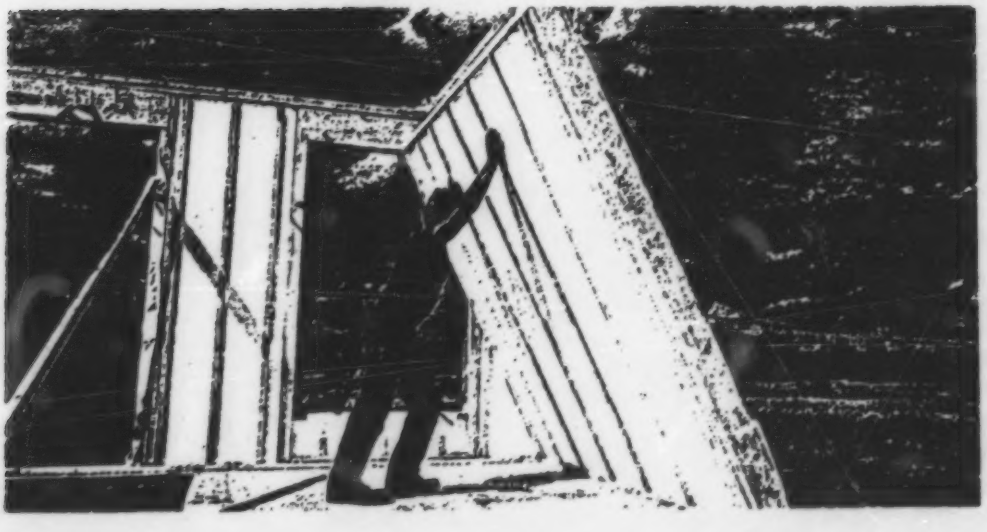
1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	821 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	731 $/m2
Coût de multifamilial horizontal	N/A
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration charpente/enveloppe et cloisonnement en partie (revêtement à ajouter)/services en partie (distribution électrique)	3
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Préfabrication au niveau du procédé et reproduction au niveau du matériau (la continuité entre nervures et parois donnée par l'adhésif double la performance structurale)	2
c- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: 6 semaines	3
- Unifamilial juxtaposé: 7 semaines	3
- Multifamilial horizontal: N/A	
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: La géométrie des caissons facilite la composition mais la complexité du plan et de la coupe augmente le nombre de pièces. Difficulté de modifier ou d'intervenir au niveau des caissons.	3
e- QUALITE DES JOINTS: Polyuréthane giclé pour traiter les joints. Stabilité supérieure à l'ossature traditionnelle en raison de la rigidité du caisson.	4
- Insonorisation: Non approprié au multifamilial, nécessité d'une double paroi pour l'unifamilial juxtaposé	
- Isolation thermique: Murs R-20 et toiture R-32	

A.2.3 PANNEAUX COMPOSITES AVEC ISOLANT RIGIDE

Utilisation de panneaux de polystryrène profilés comme gabarit permanent pour le montage des colombages de bois et également comme bris thermique: façon ingénieuse de simplifier la production en usine, tout en maximisant le rendement énergétique (#10). Ces panneaux verticaux sont généralement complétés par des dalles de nature semblable ou encore par des poutrelles ajourées avec tablier de contreplaqué.

- **CHARPENTE:** poteaux séparés par le bris thermique.
- **ENVELOPPE:** seul l'isolant est intégré.
- **CLOISONNEMENT:** généralement hors système i.e. traditionnel.
- **SERVICES:** un profilé en retrait dans le polystyrène facilite le passage du filage à l'horizontale.





A.2.3 PANNEAUX COMPOSITES AVEC ISOLANT RIGIDE (suite)

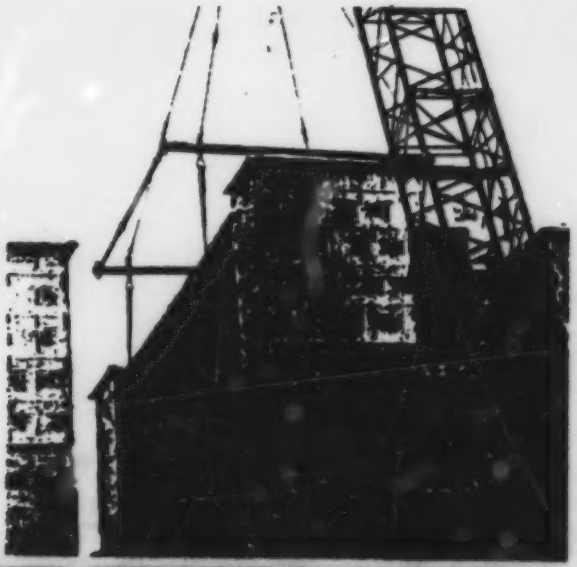
1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	758 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	633 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	547 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration charpente/enveloppe en partie (revêtement à ajouter).	1
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Préfabrication; simplification de l'assemblage apportée par le panneau de polystyrène profilé comme gabarit permanent; sous-traitance de la fourniture du polystyrène et des poutrelles.	2
c- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: 8 semaines	0
- Unifamilial juxtaposé: 8 semaines	1
- Multifamilial horizontal: 12 semaines	2
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Comparable au traditionnel.	5 (uj:4)
e- QUALITE DES JOINTS: Problèmes de tolérances, souvent dus à la difficulté de clouer la lisse perpendiculairement en raison de la présence de l'isolant rigide.	3
- Isolation thermique: Mur R-20	

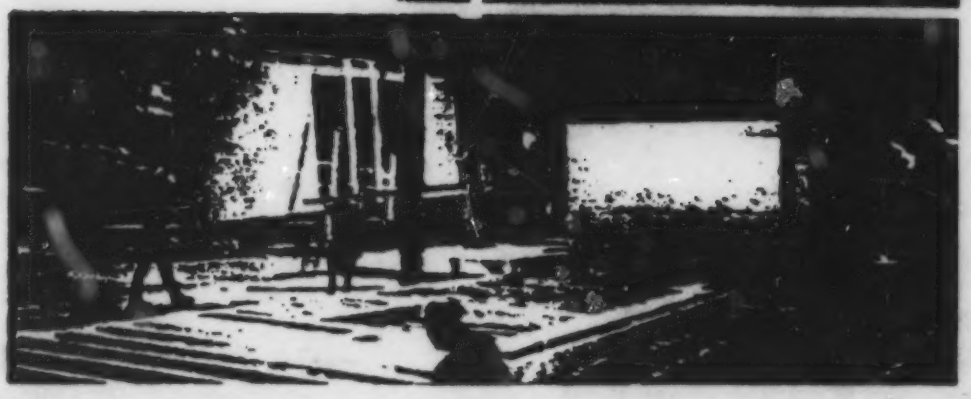
A.2.4 MAISONS MODULAIRES PRE-USINEES

Seule approche entièrement usinée au Québec présentement. Modules tridimensionnels à ossature de bois montés et finis à l'usine. L'usine typique adopte le principe de la ligne d'assemblage alimentée perpendiculairement par le sous-assemblage des composantes; il s'agit essentiellement de réunir des panneaux, d'intégrer les services et d'ajouter les revêtements intérieurs et extérieurs (#11).

Géométrie gouvernée par le gabarit routier (largeur de 16') mais qualité de construction supérieure afin de résister à la manutention et excellente insonorisation apportée par la double paroi générée lorsqu'on justapose deux modules. Le chantier étant réduit à une simple opération de raccordements et de finition (couvre-joints des panneaux de gypse/peinture/couvre-plancher/etc...).

Intégration **CHARPENTE/ENVELOPPE/CLOISONNEMENT/SERVICES/EQUIPEMENTS.**





A.2.4 MAISONS MODULAIRES PRE-USINEES (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	693 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	757 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	650 $/m3
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration de tous les sous-systèmes.	5
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Préfabrication complète, mécanisation des principales étapes: ligne de montage et de sous-assemblage, outillage pneumatique et appareils de levage. Transport par soustraitance (un module par fardier).	2
c- DUREE DES TRAVAUX DU CHANTIER:	
- Unifamilial détaché: 5 semaines	4
- Unifamilial juxtaposé: 5 semaines	5
- Multifamilial horizontal: 9 semaines	5
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Gouvernée par la géométrie du module et du gabarit routier (largeur maximale de 4,85m et hauteur maximale hors fardier de 3,6m).	3
e- QUALITE DES JOINTS: Conditionné par la nature du bois, mais précision supérieure en raison des conditions d'usine. Stabilité additionnelle due au séchage du bois et aux assemblages collés, car les conditions de transport sont plus exigeantes que la vie utile du bâtiment.	3
- Etanchéité: Jointoiements inter-module à contrôler; notamment par un couvre joint, pour éviter la capillarité.	
- Insonorisation: Seule façon d'assurer STC-55 en bois, en raison de la double paroi.	
- Isolation thermique: Mur R-20 et toiture R-40.	

A.2.5 COFFRAGES PERMANENTS A BASE D'ISOLANT RIGIDE

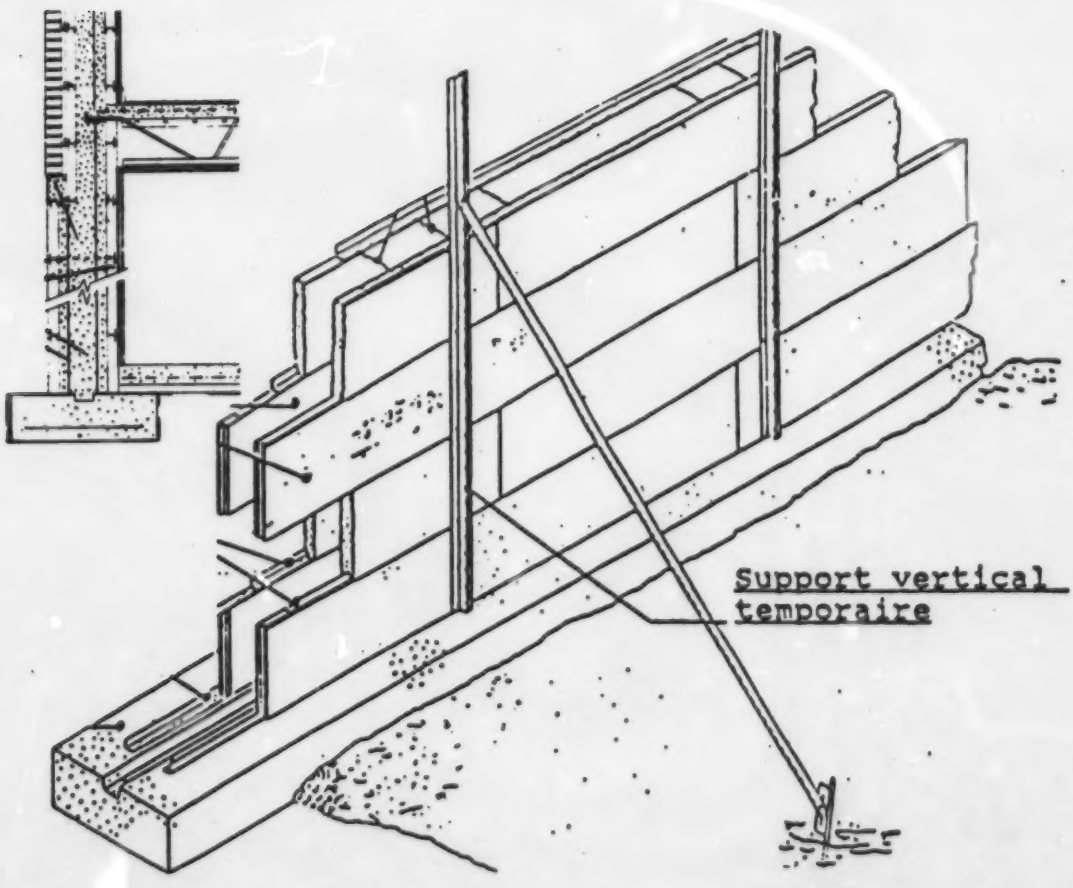
Simplification des efforts rattachés au béton coulé in situ à l'aide de méga-blocs de polystyrène évidés et facilement embouvetables comme coffrage permanent (i.e. pas de coffrage à monter puis démonter); bris thermique continu et facilité d'installation du revêtement par angles de retenue métalliques insérés entre les blocs (#12).

CHARPENTE VERTICALE de béton monolithe; diverses options de **CHARPENTE HORIZONTALE** (dalle précontrainte évidée, composite poutrelle d'acier-béton de compression, poutrelle et entrevous en béton, poutrelle de bois pour l'unifamilial, etc...).

ENVELOPPE: revêtement à fixer via les angles de retenue.

CLOISONNEMENT: partagé entre le système et le traditionnel.

SERVICES: hors système.



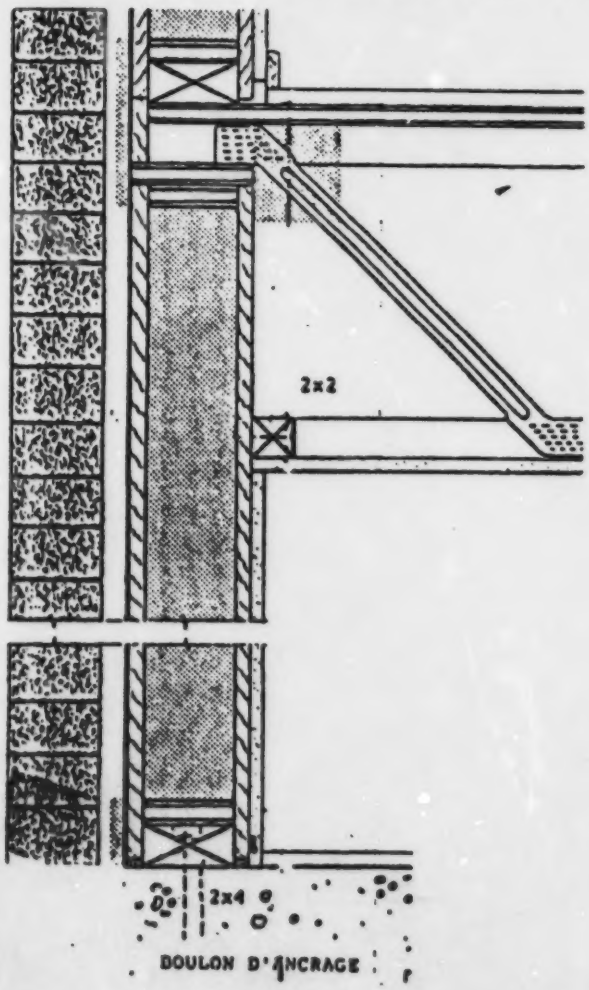
A.2.5 COFFRAGES PERMANENTS A BASE D'ISOLANT RIGIDE (suite)

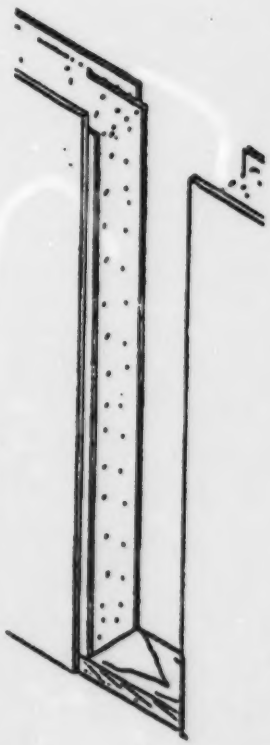
1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	761 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	655 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	592 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration de la charpente et de la composante isolation thermique de l'enveloppe.	2
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: "Reproduction" au niveau de la systématisation de l'assemblage des méga-blocs de polystyrène agissant à la fois comme coffrages permanents et isolant les méga-blocs sont fabriqués en sous-traitance.	2
c- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: 9 semaines	0
- Unifamilial juxtaposé: 9 semaines	0
- Multifamilial horizontal: 14 semaines	0
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Comparable au béton traditionnel, conditionnée par la nature du plancher-plafond.	3
e- QUALITE DES JOINTS: Ingéniosité et simplicité du "jeu de bloc". Finition conditionnée par la bonne installation des revêtements via les angles métalliques de retenue.	5
- Insonorisation: S.T.C. 60	
- Isolation thermique: Mur R-30 et toiture variable.	

A.3.1 PANNEAUX SANDWICHS

Panneaux porteurs constitués d'une âme d'isolant rigide injectée sous pression entre deux parois de contreplaqué, de particules de bois agglomérées, de revêtement métallique ou de fibro-ciment. Joint embouveté entre les panneaux (#13).

- **CHARPENTE:** murs & planchers à l'aide desdits panneaux sandwichs.
- **ENVELOPPE:** revêtement extérieur et fini intérieur à ajouter in situ.
- **CLOISONNEMENT:** à l'aide des panneaux sandwichs ou de manière conventionnelle.
- **SERVICES:** canaux pour intégration du filage.





A.3.1 **PANNEAUX SANDWICHS** (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	749 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	618 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	536 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration/charpente/enveloppe/cloisonnement en partie (sans le revêtement).	2
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Préfabrication par injection sous presse; profilé de jointement obtenu à même les réservations latérales.	2
d- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: 7 semaines	1
- Unifamilial juxtaposé: 6 semaines	4
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Comparable à tous les panneaux légers, transformation limitée par la nature non ossaturée des panneaux.	3
e- QUALITE DES JOINTS: Joints embouvetés; ingéniosité, grande précision dans l'assemblage et contreventement intégral.	5
- Etanchéité: Assurée par la continuité & le chevauchement aux joints.	
- Insonorisation: S.T.C.-55 assurée par gypse sur fourrures métalliques.	
- Isolation thermique: Murs R-20 en raison du bris thermique continu apporté par l'isolant rigide et de l'isolant intercalé entre les colombages.	

A.3.2 PANNEAUX PREFABRIQUES EN BETON

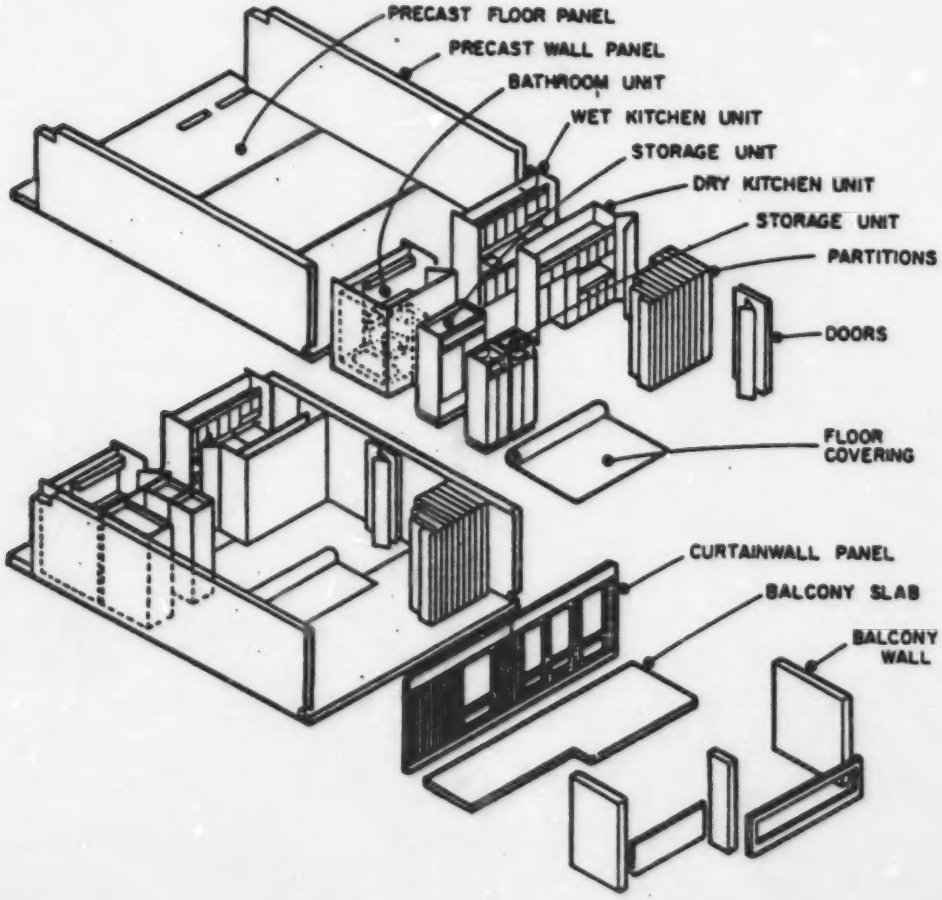
La dalle précontrainte et le composite poutrelle d'acier-béton permettent des portées de 6 @ 8 mètres, soit suffisamment pour englober un logement complet entre deux murs et amener le ratio joint-superficie dans des limites rentables. Jointoiement quand même sophistiqué (boulonné et/ou soudé) et manutention exigeante en termes de fardier et de grue (#14). Justifié uniquement dans le cas du multifamilial.

- **CHARPENTE VERTICALE** par murs porteurs généralement en refend et **CHARPENTE HORIZONTALE** par dalle précontrainte ou composite poutrelle et béton de compression.

- **ENVELOPPE:** panneau sandwich béton-isolant rigide ou de manière traditionnelle.

- **CLOISONNEMENT:** traditionnel (gypse sur ossature légère en acier).

- **SERVICES:** hors système.



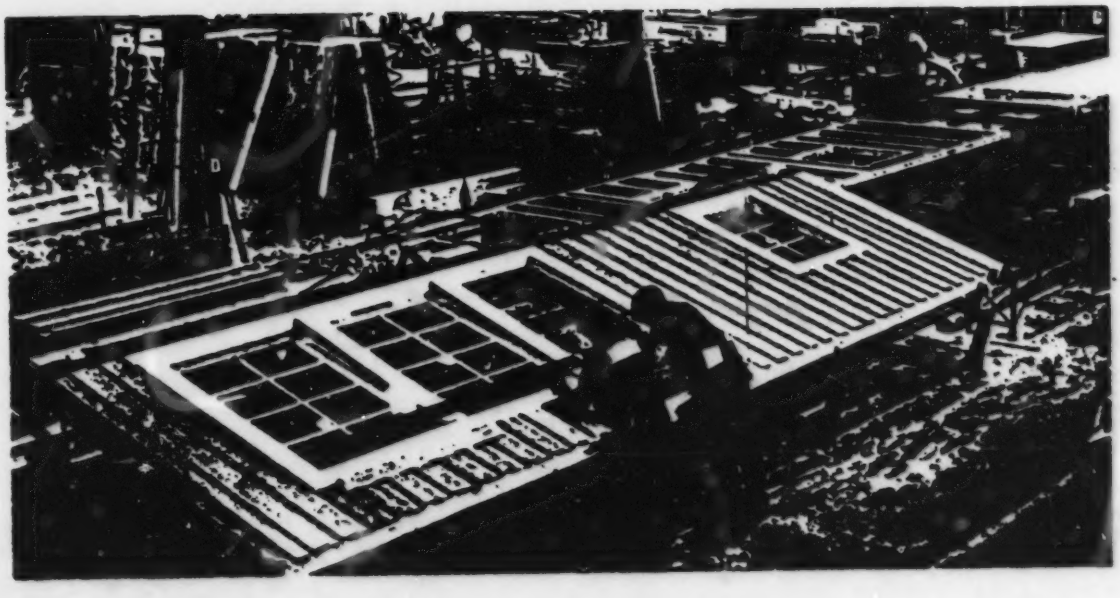
A.3.2 PANNEAUX PREFABRIQUES EN BETON (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	N/A
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	802 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	627 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration/charpente/enveloppe en partie (murs de bout & linteaux sandwichs).	2
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Préfabrication et mécanisation. Usine: coffrages mécanisés, appareils de préparation du béton et de levage. Transport par sous-traitance.	2
c- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: N/A	
- Unifamilial juxtaposé: 7 semaines	3
- Multifamilial horizontal: 11 semaines	3
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Conditonnée par les murs de refend (portée de 6 @ 7.5M) et les dalles.	3
e- QUALITE DES JOINTS: Jointoiement solide et relativement simple, par fer angles boulonnés avec oblongs de tolérance et/ou par soudure; ductilité aux secousses sismiques. Les tolérances et le traitement architectural des interfaces sont réglés avec soin.	3
- Etanchéité: Calfeutrage et espace de décompression.	
- Insonorisation: R-55	
- Isolation thermique: Enveloppe R-20 et toiture R-40.	

A.4.1 PANNEAUX LEGERS A OSSATURE DE BOIS ASSEMBLES PAR AUTOMATION

Occasion d'évaluer et de comparer les systèmes de panneaux suédois fabriqués par automation et entièrement finis à l'usine. Applicable surtout à l'unifamilial (#15).

L'intégration des sous-systèmes est semblable à celle des panneaux préfabriqués signalés en 4.2; mais force nous est de constater une précision, un niveau d'isolation thermique, une finition et une solidité nettement supérieurs.



A.4.1 PANNEAUX LEGERS EN BOIS ASSEMBLES PAR AUTOMATION (suite)

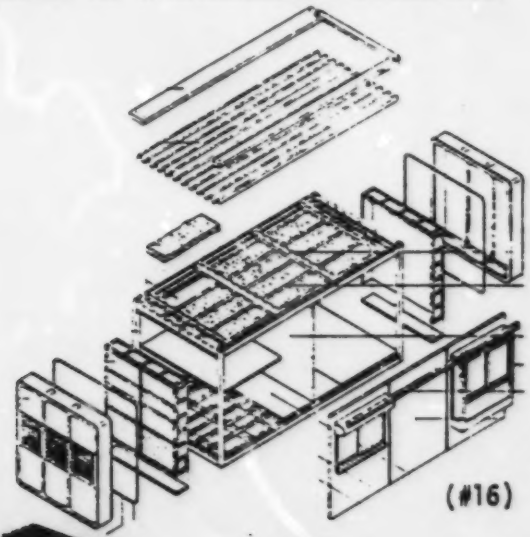
1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	757 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	719 $/m2
Coût du multifamilial horizontal	684 $/m2
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration/charpente/enveloppe/cloisonnement/ services en partie (distribution électrique).	3
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Automation complète. Ligne de montage élaborée, automatisée au niveau fabrication et manutension.	3
c- DUREE DES TRAVAUX:	
- Unifamilial détaché: 5 semaines	4
- Unifamilial juxtaposé: 5 semaines	5
- Multifamilial horizontal: 9 semaines	5
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Participation de l'usager à la planification via la CAO/FAO. Transformation comparable à la construction traditionnelle.	5 (uj:4)
e- QUALITE DES JOINTS: Grande précision apportée par l'automation, supérieure à la construction traditionnelle en raison de la qualité des matériaux et du mode d'assemblage.	5
- Insonorisation: Double paroi requise pour atteindre STC-55 en multifamilial	
- Isolation thermique: Murs R-35 et toiture R-73.	

A.4.2 MODULES USINES @ ARETES STRUCTURALES EN ACIER i.e. Modules de dimensions para-container ouvrables dans 6 directions.

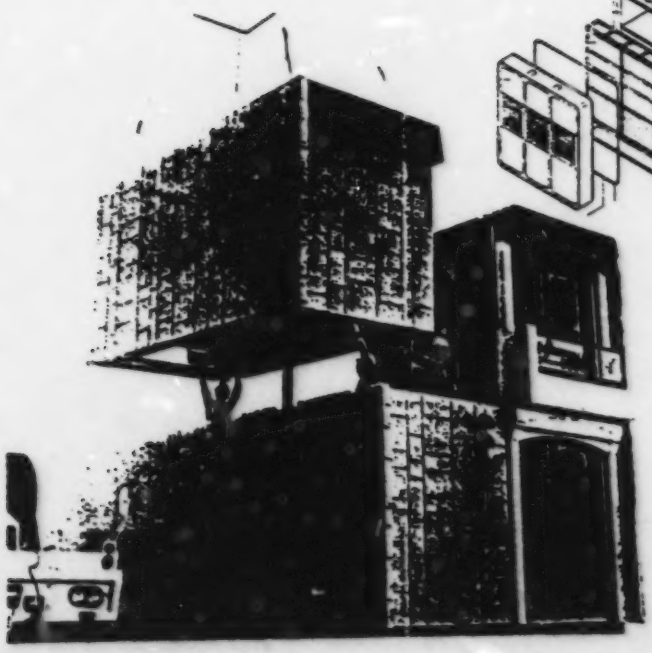
Le plus haut degré d'industrialisation faisant l'objet de production continue au monde, application directe des principes de ligne d'assemblage en usage dans le domaine de l'automobile. Module usiné à arêtes structurales en acier, permettant de réunir deux modules pour créer une grande pièce. Les dimensions para-container sont la conséquence des restrictions imposées par le gabarit routier japonais; à ce niveau, les manufacturiers québecois disposent d'un avantage important puisqu'un seul module peut mesurer 16' X 48'.

INTEGRATION CHARPENTE/ENVELOPPE/CLOISONNEMENT/SERVICES/EQUIPEMENTS

Les modules se prêtent à de multiples variations et leur combinatoire permet de générer un nombre infini de modèles: c'est le plan individualisé selon les goûts et les besoins de l'acheteur. L'acheteur va même participer à la planification de sa maison à l'aide d'un logiciel de type CAO (Conception Assistée de l'Ordinateur) sensibilisé aux normes et règles du système.



(#16)



(#17)

A.4.2 MODULES USINES A ARETES STRUCTURALES EN ACIER (suite)

1- EVALUATION ECONOMIQUE	
Coût de l'unifamilial détaché:	955 $/m2
Coût de l'unifamilial juxtaposé:	1050 $/m2
Coût de multifamilial horizontal	N/A
2- EVALUATION TECHNIQUE	
a- AMPLITUDE DU SYSTEME: Intégration de tous les sous-systèmes.	5
b- DEGRE D'INDUSTRIALISATION: Automation de l'assemblage, robotisation des principales composantes.	4
c- DUREE DES TRAVAUX DU CHANTIER:	
- Unifamilial détaché: 4 semaines	5
- Unifamilial juxtaposé: 4 semaines	5
- Multifamilial horizontal: N/A	
3- EVALUATION QUALITATIVE	
d- SOUPLESSE ARCHITECTURALE: Facilité par la géométrie des modules qui peuvent être entièrement ouverts entre eux en raison de la structure. Participation de l'usager à la planification via la CAO/FAO.	4 (uj:3)
e- QUALITE DES JOINTS: Haute précision et solidité du joint boulonné.	4

ANNEXE "B"

PLANS CONSTITUANT LE MODELE ARCHITECTURAL ET DEVIS SOMMAIRE

Le tracé des sept (7) plans types ayant servi à la modélisation est montré ci-après, à l'échelle 1:100 dans le cas de l'unifamilial et 1:150 dans le cas du multifamilial. Le tout est accompagné d'un devis sommaire visant à mieux cerner le niveau "coût modique" visé par l'étude.

Tel que signalé précédemment, le tableau en 6.3 indique la compatibilité entre lesdits plans et les systèmes constructifs sélectionnés.

SERIE "A"

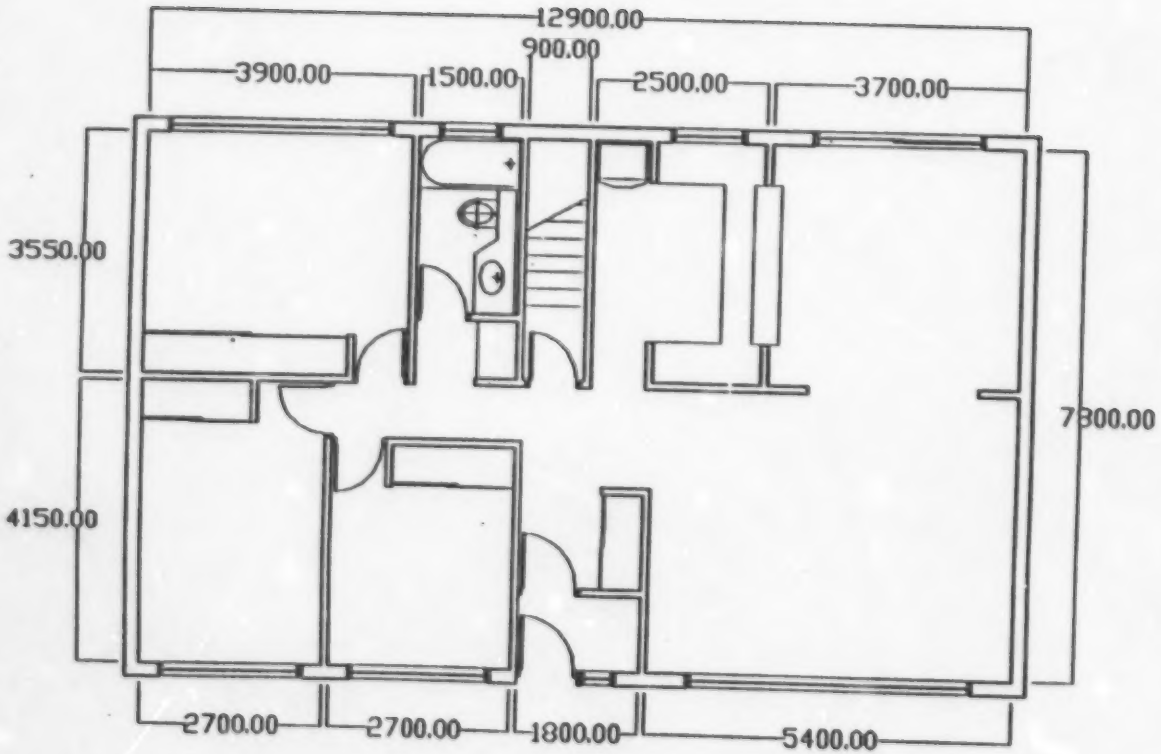
- Unifamilial détaché
- Unifamilial juxtaposé
- Multifamilial horizontal

SERIE "B"

- Unifamilial détaché
- Unifalilial juxtaposé
- Multifamilial horizontal

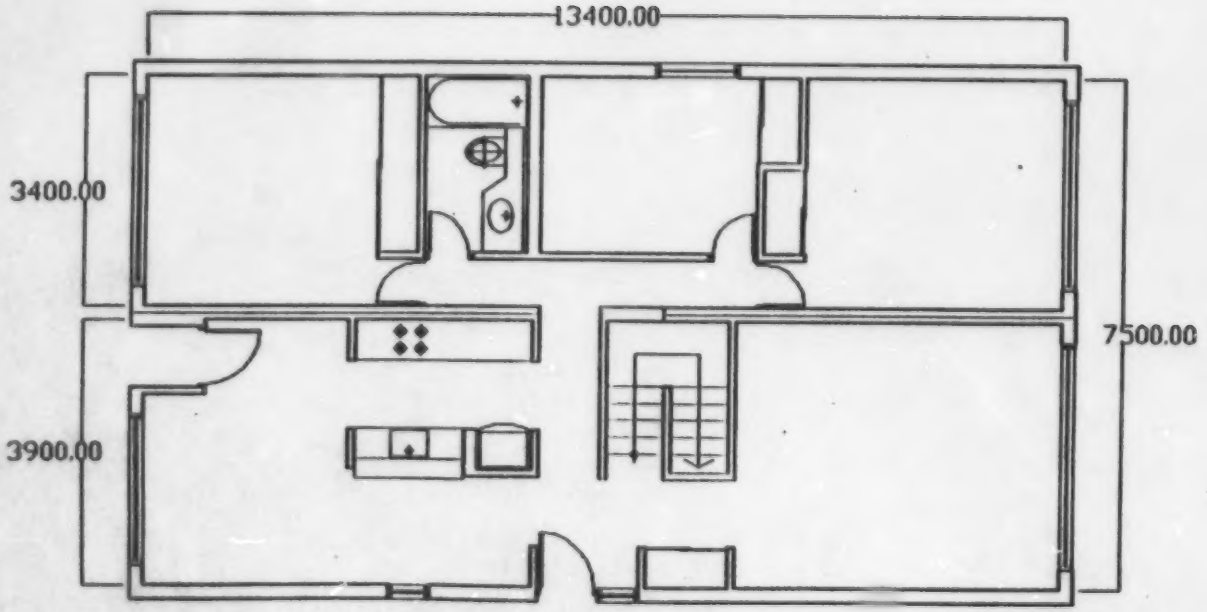
SERIE "C"

- Unifamilial détaché et juxtaposé

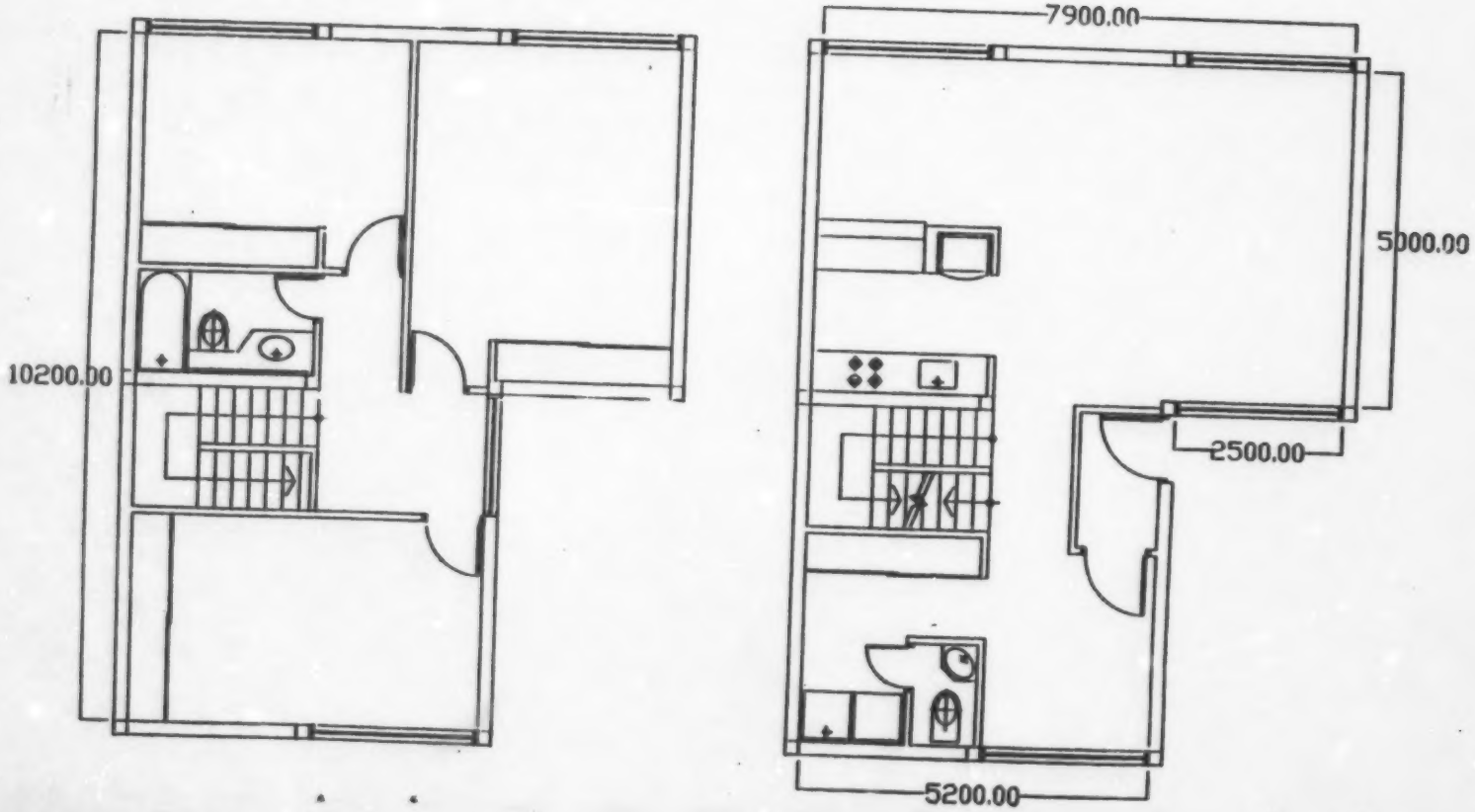


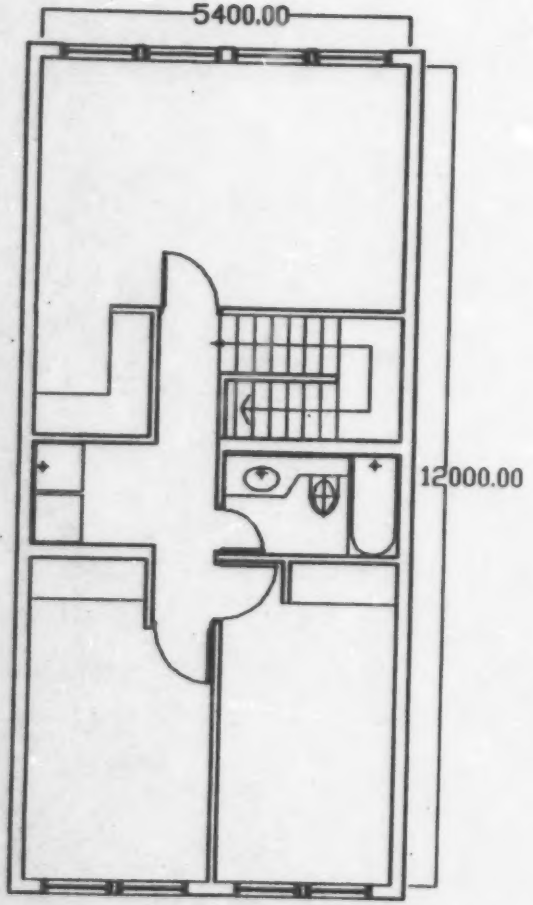
TYPE A
UNIFAMILIAL DETACHE
100.6 m2

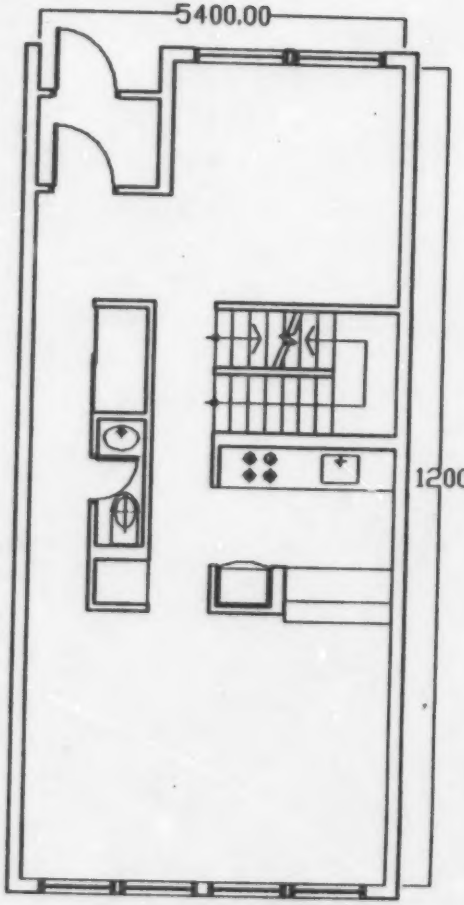
TYPE B
UNIFAMILIAL DETACHE
100.5 m2



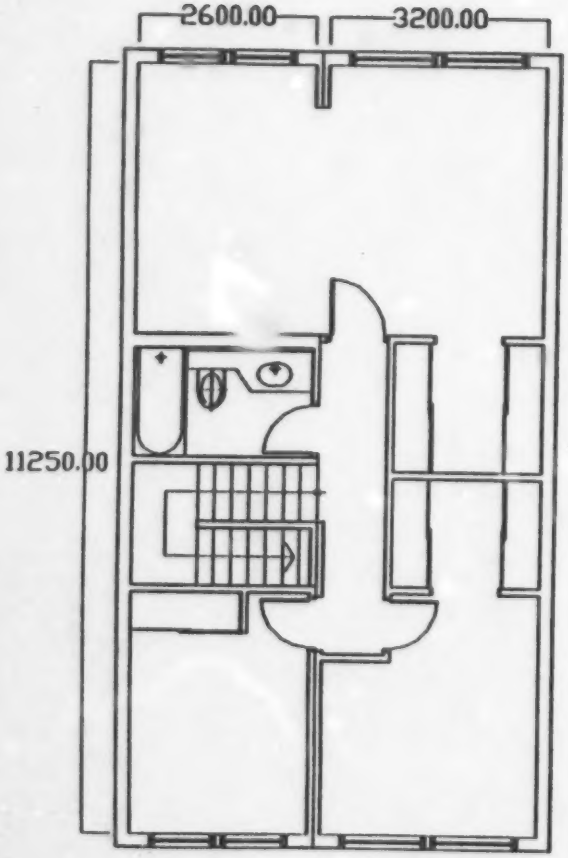
TYPE C
UNIFAMILIAL DETACHE ET
UNIFAMILIAL JUXTAPOSE
125 m2

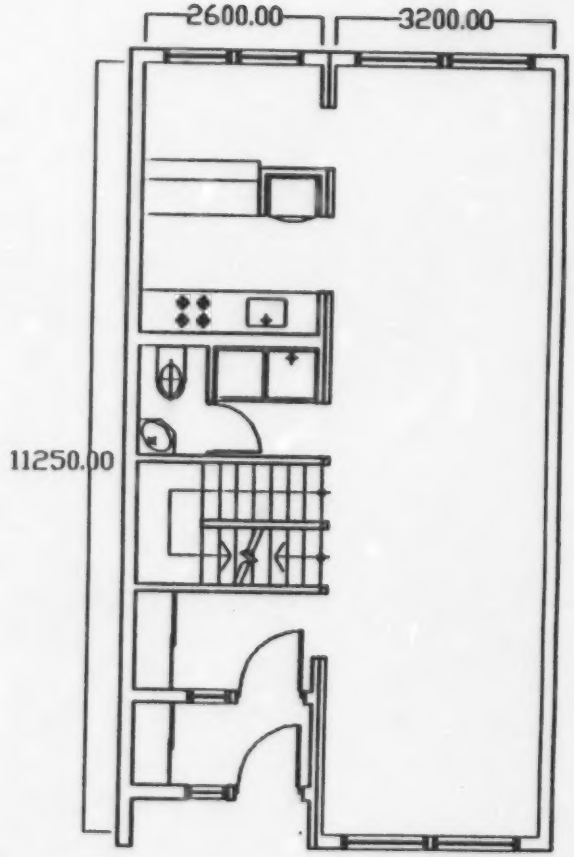






TYPE A
UNIFAMILIAL JUXTAPOSE
129.6 m2





TYPE B
UNIFAMILIAL JUXTAPOSE
130.25 m2

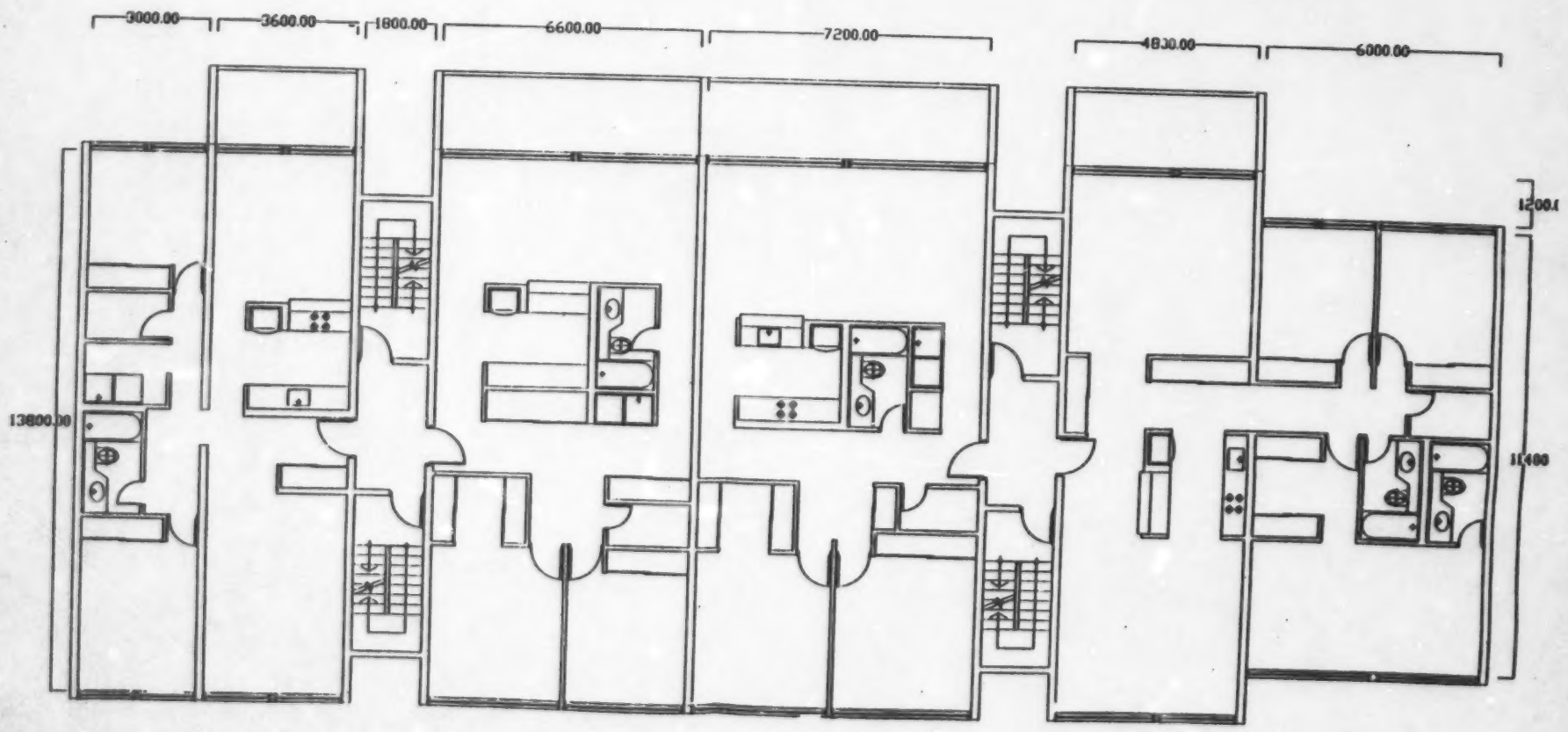
TYPE A
MULTIFAMILIAL HORIZONTAL

PETIT 2 CHAMBRES
91.08 m2

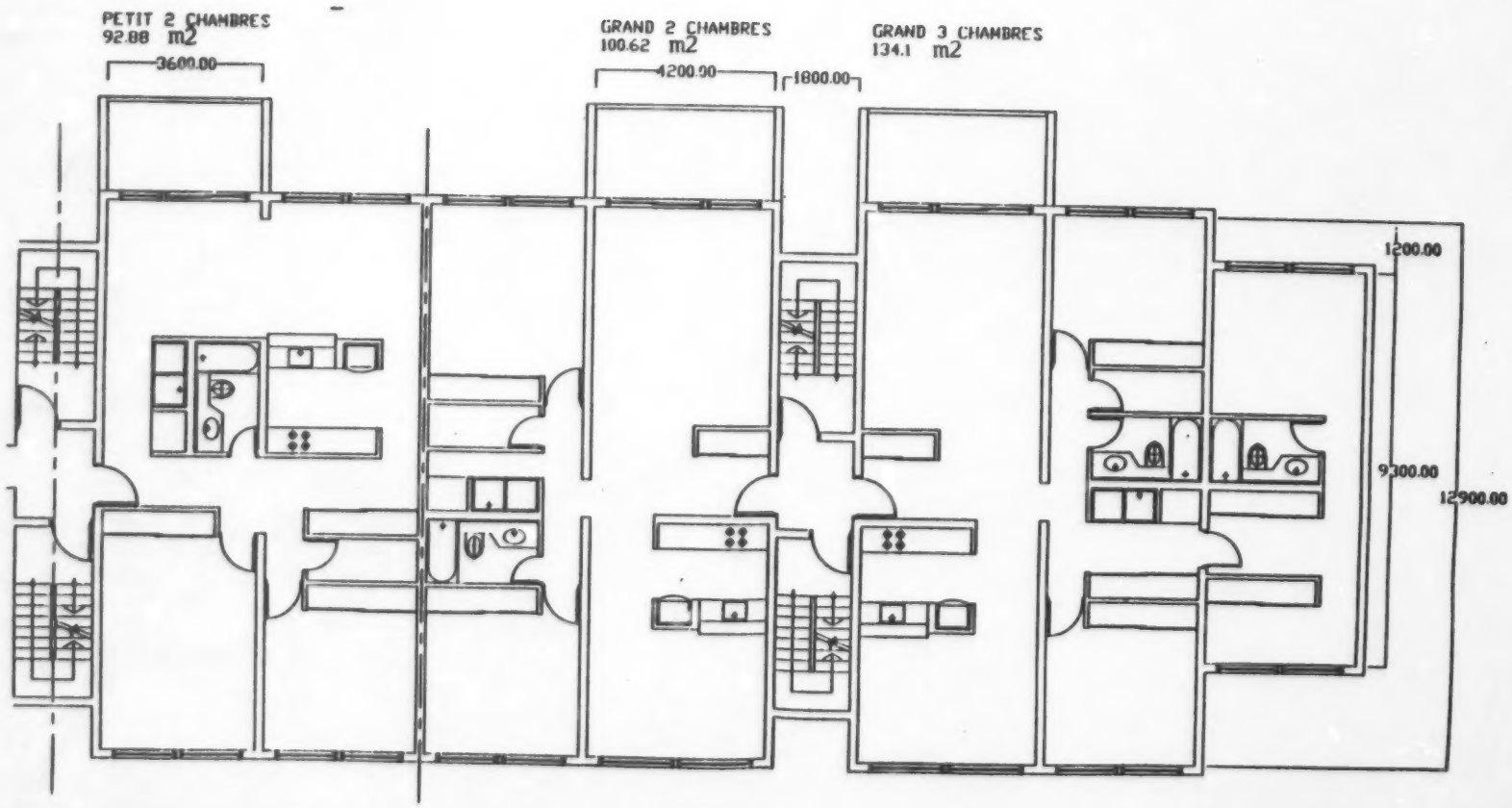
PETIT 2 CHAMBRES
91.08 m2

GRAND 2 CHAMBRES
99.36 m2

GRAND 3 CHAMBRES
134.64 m2



TYPE B
MULTIFAMILIAL HORIZONTAL



DEVIS SOMMAIRE

En raison du grand nombre d'options offertes tant par la construction traditionnelle qu'usinée, nous avons résolu de limiter l'étude au niveau minimal standard (i.e. "basic building"), avec référence au devis sommaire qui suit à titre indicatif. L'étude se situe donc dans le segment du marché des logements à coûts modérés, et ce pour chacun des trois niveaux de densité au programme.

1- **CHARPENTE**
Fondation et infrastructure en béton armé, étanches et isolées de l'extérieur (R-15). Superstructure conforme aux codes, résistance au feu d'une heure.

2- **ENVELOPPE**
Composition des murs de type écran-à-la-pluie (en totalité ou aux joints) avec barrière-à-l'air/isolation thermique (R-20)/coupe-vapeur continu.

Parement extérieur en maçonnerie, stuc ou déclin métallique.

Fenestration de type verre thermo avec cadrage en aluminium avec bris thermique, minimum de 20% ouvrante, hauteur de 48".

Porte d'entrée métallique isolée R-10, porte patio en verre thermo ou doubles portes.

Toiture R-40 à bardeaux d'asphalte sur contreplaqué et fermes.

3- **CLOISONNEMENT**
Cloisons de gypse sur montants de bois là où il y a ossature de bois, sur montants métalliques pour charpente de béton/maçonnerie/ métallique. Murs communs ou mitoyens STC 55.

Plafonds communs STC 55.

Porte d'entrée en bois pleine à l'entrée, évidée à l'intérieur de même que pour les placards. Cadres en métal.

4- **SERVICES**
Mécanique & électricité conformément aux codes. Ventilation naturelle favorisée par la double orientation de chaque logement

5- **EQUIPEMENTS**
Escaliers collectifs en métal avec pannes de béton; en bois à l'intérieur d'un logement.

Mobilier de cuisine et salles d'eau en MCP, appareils standards.

N.B. La finition de sous-sol de même que l'aménagement du terrain sont exclus de l'étude.

ANNEXE "C"

NOTES EXPLICATIVES DE L'EVALUATION ECONOMIQUE

Les lots de construction de chacun des systèmes énumérés aux 3 tableaux comparatifs, ont été ventilés de manière à pouvoir comparer de la façon la plus objective et équitable posssible, les coûts unitaires au mètre carré, par rapport à la construction traditionnelle en bois.

Les coûts marqués d'un "ASTERISQUE" (*) représentent les lots de construction affectés par les différents systèmes. Ceux représentés par un "S" sont des lots qui sont entièrement couverts par le système.

Les frais généraux comprennent;

Les services temporaires (électricité, chauffage, téléphone eau) l'enlèvement des rebuts, la location pour roulotte de chantier, de toilettes, d'équipements spécialisés, le permis de construction, les assurances, les honoraires professionnels (architecte, ingénieur, arpenteur), le financement intérimaire, le coût du transport des éléments/modules usinés, les contingences et autres frais divers.

1.1 TRADITIONNEL EN BOIS

Les coûts établis pour ce type de construction servent de point de comparaison pour tous les autres systèmes inclus dans la présente étude.

1.2 MAÇONNERIE PORTEUSE

Il n'est pas réaliste de considérer ce type de construction pour la petite maison unifamiliale détachée.

Pour les deux (2) autres plans étudiés, le coût du système est déterminé par les ouvrages de maçonnerie des murs extérieurs et des murs porteurs ainsi que l'utilisation des dalles évidées pour les planchers.

- Coût des murs porteurs: 65,00$/m2
- Coût des dalles évidées: 81,00$/m2

Les coûts différentiels sont justifiés par;

a) Les ouvrages de bois sont limités uniquement à la fourniture et l'installation de la structure et l'isolation des toits et des escaliers intérieurs.

b) Les ouvrages de gypse additionnel sur colombages métalliques avec isolant pour les murs extérieurs, sans isolant pour les divisions intérieures non porteuses, sur fourrure pour les autres murs et plafonds.

1.3 BETON IN SITU

Cette méthode est surtout utilisée à des fins commerciales et industrielles. Elle utilise du coffrage traditionnel et la structure est entièrement composé de béton coulé sur place.
Coûts des coffrages:

- Empattement, fondations = 50,00$/m
- Murs de contreventements = 15,00$/m2
- Dalle de plancher = 35,00$/m2
- Finition de dalle = 5,00$/m2
- Le prix du béton en moyenne = 80,00$/m3

Les coûts différentiels reflètent la même situation que la maçonnerie porteuse.

2.1 PANNEAUX OUVERTS A OSSATURE DE BOIS

Ce type de construction touche toute la charpente en bois ainsi que tous les matériaux nécessaires pour fermer l'enveloppe. Les murs sont livrés sur le site avec l'isolation, les coupe-vapeur, ainsi que les fourrures intérieures et extérieures. Le brut des escaliers de bois ainsi que la fourniture et l'installation des fenêtres sont également inclus au système.

Selon les informations recueillies, l'économie sur les matériaux et la main-d'oeuvre nécessaire à l'achèvement de toute l'enveloppe sont de l'ordre de 10% à 20% dépendamment de la complexité des plans pour l'unifamilial détaché. L'utilisation d'équipement de levage devient essentielle dans le cas du multifamilial et de l'unifamilial juxtaposé.

2.2 PANNEAUX CAISSONS

Ce type de construction n'a pas été considéré dans le cas du multifamilial étant donné l'importance à accorder à l'acoustique et à l'ignifugation entre les différents logements pour rencontrer les normes identifiées au devis.

Le coût du système est établi en fonction de;

- Murs extérieurs: = 69,00$/m2
- Caissons pour planchers = 78,50$/m2
- Panneaux pour toiture = 82,00$/m2

Les coûts différentiels s'expliquent par;

a) Ouvrages additionnels de gypse sur colombages métalliques pour les divisions intérieures et sur fourrure métallique pour les murs extérieurs.
b) Matériaux et main-d'oeuvre pour l'escalier intérieur et isolation des murs des fondations.

2.3 PANNEAUX DE BOIS AVEC ISOLANT RIGIDE

Ce type de construction touche uniquement les murs extérieurs des modèles étudiés.

Toutefois, les murs mitoyens ont été condidérés comme étant extérieurs et indépendants pour augmenter le rendement acoustique entre les logements.

Le coût du système a été calculé en fonction de 30,50$ du m2 pour les murs extérieurs.

Les coûts pour les matériaux sont réduits en considérant que le bois et l'isolant des murs extérieurs sont inclus dans le coût du système.

2.4 MAISONS MODULAIRES

La préfabrication de maisons modulaires est le système qui regroupe le plus de lots de construction. Par contre des équipements de levage sont nécessaires à la mise en place sur les fondations.

Les coûts différentiels s'expliquent par;

- De simples raccordements électriques
- Plomberie souterraine et réservoir à eau chaude
- Escaliers de sous-sol et isolation des murs de fondations
- Joints de gypse.

2.5 COFFRAGES PERMANENTS

Le coût du système comprend;

- L'enveloppe struturale en béton ainsi que de la semelle jusqu'au toit
- Coffrage avec isolant permanent en polystyrène expansé avec fourrure
- Poutrelles d'acier avec plancher de béton de 3" pour le multifamilial et de poutrelles de bois avec contreplaqué 5/8" embouveté dans le cas de l'unifamilial détaché et juxtaposé
- Dalle sur sol et finition
- Escalier en acier pour le multifamilial, en bois pour l'unifamilial
- Installation de portes et fenêtres.

Les coûts différentiels s'expliquent par;

- Matériaux & main-d'oeuvre pour les travaux de toiture
- Ouvrages de gypse sur colombages métalliques pour les divisions intérieures.

3.1 PANNEAUX SANDWICHS

Etant donné que le système de panneaux sandwichs en est à ses débuts au Québec, les données recueillies sont insuffisantes pour établir les coûts de construction avec certitude. Pour l'instant on utilise le système uniquement pour les murs extérieurs. Le coût pour la fourniture est de 30,70$/m2

Le système pourrait aussi être utilisé pour la structure des planchers et du toit avec insertion de poutrelles ou de fermes de toits structurales.

Selon l'information reçue d'un entrepreneur général, il en coûterait à peu près le même prix de construire avec le système de panneaux sandwichs que de la méthode traditionnelle en bois.

3.2 PANNEAUX PREFABRIQUES EN BETON

Ce système s'applique surtout à la construction commerciale et industrielle. Le système de panneaux préfabriqués en béton ne touche pas le marché de la petite maison, car il n'est pas compétitif au niveau des coûts. Toutefois les coûts du système a été établi pour les maisons juxtaposées et le multifamilial.

Le coût du système comprend;

- Murs extérieurs préfabriqués et isolés 120,00$/m2
- Dalles composites (béton & acier) 86,00$/m2

Les coûts différentiels s'expliquent par;

- Matériaux et main-d'oeuvre nécessaire pour les travaux de toiture, escaliers intérieurs, murs de fondations.
- Ouvrages additionnels de gypse sur colombages métalliques pour les divisions intérieures, sur fourrure pour les murs extérieurs et plafonds.

4.1 PANNEAUX LEGERS PAR AUTOMATION

Ce système suédois englobe tous les éléments nécessaires à la finition complète d'une unité résidentielle.

Le coût du système a été obtenu par le biais d'une étude américaine. "WHEN THE BEST COSTS LESS", de Paul F Kando (#18).

L'unité résidentielle qui rapprocherait le plus les spécifications à notre devis, se vendait 83 845,00$ U.S. pour 1865 pi.ca. en 1988.

Pour calculer le coût unitaire, nous avons respecté le même ratioque les maisons modulaires, i.e. les premiers 1,000/pi.ca. ou 93/m2 coûtent un certain montant (X) à construire et les superficies additionnelles en coûtent 60%.

EXEMPLE

1000 pi.ca. X + 865 pi.ca (X .6) = 83 845,00$
X = $55.00/pi.ca.

indexé sur deux (2) ans à 5% + 16% d'échange canadien on obtient 70,34$/pi.ca., soit 757,00$/m2

Pour le juxtaposé nous avons imputé 5% = 719,00$/m2
Pour le multifamilial nous avons imputé un autre 5% = 684,00$/m2

4.2 MODULES A ARETES D'ACIER

A partir d'une soumission faite par Ortech International, nous avons évalué le coût du système japonais à:

- 955,00$/m2 pourl'unifamilial détaché
- 1050,00$/m2 pour l'unifamilial juxtaposé.

Le principe japonais peut difficilement s'adapter au multifamilial.

ANNEXE "D"

REFERENCES & CREDITS

Liste des documents auxquels le présent rapport réfère; documents identifiés entre parenthèses à l'aide du # suivi du numéro correspondant.

1- ANNEXE 1 - APPEL DE CANDIDATURES
(cahier des charges): ETUDE SUR UNE EVALUATION COMPARATIVE DES METHODES DE CONSTRUCTION USINEES EN REGARD DE LA CONSTRUCTION TRADITIONNELLE SUR LE SITE;
S.H.Q. - Direction de l'analyse et de la recherche; Montréal, juin 1990; page 1.

2- SYSTEMES DE CONSTRUCTION INDUSTRIALISES DANS LE DOMAINE DE L'HABITATION;
Roger Bruno RICHARD; S.H.Q./M.I.C.T.Q.; Montréal, octobre 1990; pp. 12 @ 14, 43 et 63.

3- CONSTRUCTION DE LA PETITE MAISON A OSSATURE DE BOIS;
S.C.H.L.; Ottawa.

4- MANUEL DE DESIGN;
Association des manufacturiers de maçonnerie de béton du Québec; Montréal, 1990.

5- Documents descriptifs du système "HAMBRO"; publiés par la Cie CANAM.

6- THE BUILDING SYSTEMS INTEGRATION HANDBOOK;
Richard D. RUSH; John Wiley & Sons; N.Y., 1986; pp. 128 et 129.

7- Journal "HABITABEC MONTREAL", 18 janvier 1991, p. A1.

8- Documents descriptifs de "BATISSEURS ASSOCIES"

9- Documents descriptifs des systèmes "THERMOCUBE" et THERMOMAT" publiés par les manufacturiers des mêmes noms.

#10- Documents descriptifs publiés par les distributeurs du système "INSULWALL".

#11- COMPONENT & MODULAR TECHNIQUES: A BUILDER'S HANDBOOK;
R.J. LYTLE; McGraw Hill; N.Y., 1982.

#12- Documents descriptifs publiés par la Cie POLYCRETE.

#13- Documents descriptifs du systeme "PAN-ISOX STRUCTURAL"

#14- Documents descriptifs publiés par la Cie DESCON INTERNATIONAL (Ottawa).

#15- "COST EFFICIENCY IN CUSTON DESIGN - THE SWEDISH FACTORY - CRAFTED HOME" publié par le Swedish Council for Building Research, Chicago.

#16- Documents descriptifs publiés par la Cie SEKISUI-HAIM.

#17- Documents descriptifs par la Cie MISAWA HOMES.

#18- "WHEN THE BEST COSTS LESS", Paul F. Kando, publié par le Swedish Council for Building Research, Chicago.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les firmes suivantes pour leur collaboration à la préparation de l'étude:

- Les BATISSEURS ASSOCIES (division de FERMCO);
- Monsieur Raymond COUTURE;
- CONCEPT ST-PATRICK Inc.;
- DESCON INTERNATIONAL Ltd;
- Les INDUSTRIES BONNEVILLE Ltée;
- ISO-SAND Inc.;
- MAISONS MODULAIRES TRUDEAU Inc.;
- ORTECH INTERNATIONAL;
- POLYCRETE Distribution (Groupe MEILLEUR);
- SHOCKBETON QUEBEC Inc.;
- Les STRUCTURES PAQUET (1990) Inc.